

---

**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ & ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ**

---

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση  
για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Τσοπανάκης Δημήτριος

Επιβλέπων: Δρ. Γεωργίου Ευστράτιος

Ηράκλειο Κρήτης  
Δεκέμβριος 2019

---

**HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY**  
**SCHOOL OF ENGINEERING**

**POSTGRADUATE PROGRAM**  
**MASTER OF SCIENCE IN**  
**ADVANCED MANUFACTURING SYSTEMS, AUTOMATION AND ROBOTICS**

---

**Master Thesis**

Implementation of the Delta Robot System with Mechanical  
Vision for use on a production line

Tsopanakis Dimitrios

Supervisor: Dr. Georgiou Efstratios

Heraklion Crete  
December 2019

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις .....

Δρ. Γεωργίου Ευστράτιος, Καθηγητής.....

(Υπογραφή)

Δρ. Σφακιωτάκης Μιχαήλ, Καθηγητής.....

(Υπογραφή)

Δρ. Φασουλός Ιωάννης, Καθηγητής.....

(Υπογραφή)



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	9
Σκοπός Μεταπτυχιακής Εργασίας.....	10
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή στη Ρομποτική .....</b>	<b>12</b>
1.1 Η Ιστορία της Ρομποτικής .....	12
1.2 Ο Ορισμός του Ρομπότ.....	14
1.3 Τα Πλεονεκτήματα και τα Μειονεκτήματα των Ρομπότ .....	14
1.4 Τα Είδη των Ρομπότ .....	14
1.5 Εισαγωγή στη Βιομηχανική Ρομποτική.....	22
1.6 Μηχανική Δομή Βιομηχανικών Ρομπότ.....	24
1.7 Τα Είδη των Ενεργοποιητών .....	28
1.8 Πνευματικοί Ενεργοποιητές.....	28
1.9 Υδραυλικοί Ενεργοποιητές.....	30
1.10 Ηλεκτρικοί Κινητήρες.....	32
1.11 Αισθητήρες Βιομηχανικών Ρομπότ.....	34
1.12 Δομή Λειτουργίας Βιομηχανικού Ρομπότ.....	37
1.13 Δομή Λειτουργίας Controller Βιομηχανικού Ρομπότ .....	38
1.14 Δομή Λειτουργίας Teach Pad Βιομηχανικού Ρομπότ .....	39
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Εισαγωγή στα Delta Robots .....</b>	<b>40</b>
2.1 Ρομπότ Ανοιχτής Κινηματικής Αλυσίδας .....	40
2.2 Ρομπότ Κλειστής Κινηματικής Αλυσίδας .....	41
2.3 Τα Πλεονεκτήματα των Ρομπότ Κλειστής Κινηματικής Αλυσίδας .....	42
2.4 Ιστορική Αναδρομή του Delta Robot .....	42

## **Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής**

2.5 Ο Ορισμός του Delta Robot.....	43
2.6 Τα Πλεονεκτήματα του Delta Robot .....	44
2.7 Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά των Delta Robots.....	44
2.8 Κατασκευαστικές Τροποποιήσεις των Delta Robots .....	45
2.9 Εφαρμογές Delta Robot .....	48
2.10 Εφαρμογές Delta Robot με τη χρήση LASER και PLASMA .....	51
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Σχεδιασμός και Υλοποίηση Συστήματος .....</b>	<b>55</b>
3.1 Προγράμματα CAD.....	55
3.2 Μηχανές CNC .....	57
3.3 Σχεδιασμός και Μηχανική Ανάλυση Συστήματος.....	59
3.4 Ενεργοποιητής Συστήματος.....	74
3.5 Αισθητήρες Συστήματος .....	77
3.6 Εργαλείο Τελικής Δράσης Συστήματος.....	80
3.7 Σύνοψη Κεφαλαίου .....	81
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Κινηματικό Μοντέλο, Έλεγχος και Όραση .....</b>	<b>86</b>
4.1 Ευθύ Κινηματικό Πρόβλημα .....	87
4.2 Αντίστροφο Κινηματικό Πρόβλημα .....	89
4.3 Έλεγχος - PID ελεγκτής.....	91
4.4 Εύρεση Κερδών του PID Ελεγκτή .....	97
4.5 Όραση.....	99
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Υλοποίηση Controller .....</b>	<b>105</b>
5.1 Υλικά του Controller .....	106
5.2 Συνδεσμολογία Controller .....	113
5.3 Δομή Λειτουργίας Controller - Συστήματος.....	116

## **Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής**

5.4 Σύνοψη Κεφαλαίου .....	119
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Αποτελέσματα .....</b>	<b>121</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συμπεράσματα .....</b>	<b>128</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>133</b>





## **Περίληψη**

Στη σύγχρονη βιομηχανία όλο και περισσότερες διεργασίες, τις οποίες μπορούσαν να εκτελέσουν αποκλειστικά και μόνο οι άνθρωποι, εκτελούνται πλέον από ρομπότ. Με τη βοήθεια της σημερινής τεχνολογίας έχουν κατασκευαστεί βιομηχανικά ρομπότ τα οποία μπορούν να αντικαταστήσουν πλήρως τον άνθρωπο, ενώ αποτελούν και τον πιο ώριμο τομέα της ρομποτικής. Ένα βιομηχανικό ρομπότ είναι μια μηχανή η οποία έχει κατασκευαστεί για να παρέχει τη δυνατότητα της μετακίνησης διαφόρων ειδών αντικειμένων και εργαλείων από μία θέση στο χώρο σε μία άλλη. Το βιομηχανικό ρομπότ που έχει επικρατήσει για διεργασίες που αφορούν τη γρήγορη μετακίνηση ελαφριών αντικειμένων είναι τα Delta Robots. Τα Delta Robots είναι τύπου κλειστής κινηματικής αλυσίδας, και η μορφολογία τους είναι τέτοια η οποία επιτρέπει κυρίως τη μετακίνηση αντικειμένων στους 3 βασικούς άξονες. Με τη χρήση όμως κατάλληλων υποσυστημάτων μπορεί να επιτευχθεί και η επιλογή του προσανατολισμού των αντικειμένων που αλληλοεπιδρά. Ξεκινώντας αρχικά από τη περιστροφή στο κατακόρυφο άξονα z, καθώς οι περισσότερες διεργασίες που εκτελούνται από τα Delta Robots το απαιτούν, και με τη χρήση πιο πολύπλοκων υποσυστημάτων επιτυγχάνεται και η περιστροφή και στους άλλους δύο κύριους άξονες x και y. Τα Delta Robots χρησιμοποιούνται σε πάρα πολλές βιομηχανικές διεργασίες, όμως η κυριότερη είναι η συλλογή και η τοποθέτηση αντικειμένων μικρού βάρους τα οποία βρίσκονται εντός μεταφορικής ταινίας. Για την ανίχνευση των αντικειμένων ούτως ώστε το Delta Robot να αλληλοεπιδράσει με το επιθυμητό αντικείμενο γίνεται με τη χρήση διαφόρων αισθητηρίων, καθώς το βασικότερο αισθητήριο που χρησιμοποιείται είναι η κάμερα. Με βάση όλα όσα αναφερθήκαν παραπάνω, το θέμα της παρούσας εργασίας είναι η πλήρης υλοποίηση ενός αντίστοιχου συστήματος Delta Robot. Δηλαδή ο εξαρχής και πλήρης σχεδιασμός του σε 3D CAD λογισμικό, η κατασκευή του με τη χρήση συμβατικών και CNC εργαλειομηχανών, ο προγραμματισμός του σε μικροελεγκτή, η υλοποίηση και η ενσωμάτωση μιας μεταφορικής ταινίας στο χώρο εργασίας του, καθώς και η υλοποίηση κατάλληλου συστήματος όρασης για την εύρεση των αντικειμένων που θα αλληλοεπιδρά. Κύρια λειτουργία αυτού του συστήματος είναι η εύρεση του αντικειμένου, το οποίο βρίσκεται εντός της μεταφορικής ταινίας, και η συλλογή-μετακίνηση του από το ρομποτικό σύστημα.

## Σκοπός Μεταπτυχιακής Εργασίας

Κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εξολοκλήρου υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου ρομποτικού συστήματος με τη δυνατότητα τοποθέτησής του σε μια γραμμή παραγωγής, και ικανό προς συλλογή και τοποθέτηση μικρών και ελαφριών αντικειμένων στον ελάχιστο δυνατό χρόνο. Η επιλογή του Delta Robot ως κύριο ρομποτικό σύστημα της εργασίας αποτελούσε μονόδρομο, καθώς η πλειοψηφία των συγκεκριμένων εφαρμογών στη πλέον εξελιγμένη σύγχρονη βιομηχανία απαρτίζεται από τέτοιου τύπου ρομποτικά συστήματα. Το Delta Robot λόγω της κατασκευαστικής-μηχανολογικής μορφολογίας του παρέχει τη δυνατότητα ταχύτατης συλλογής και τοποθέτησης αντικειμένων τα οποία βρίσκονται εντός του χώρου εργασίας του, με το μοναδικό μειονέκτημα τον περιορισμό του βάρους των αντικειμένων που μπορεί να αλληλοεπιδρά.

Έχοντας επιλέξει το Delta Robot ως το κυρίως ρομποτικό υποσύστημα της εργασίας, για να θεωρηθεί ένα τέτοιο ρομποτικό σύστημα ολοκληρωμένο και ενσωματωμένο σε μία γραμμή παραγωγής είναι αναγκαία η ανάπτυξη και η υλοποίηση και άλλων υποσυστημάτων, τα οποία θα ολοκληρώσουν το σκοπό της παρούσας εργασίας. Σε μία σύγχρονη βιομηχανική γραμμή παραγωγής η μεταφορά των αντικειμένων από ένα σημείο του εργοστασίου σε ένα άλλο, με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία τους μέχρι το τελικό προϊόν, δεν γίνεται χρησιμοποιώντας το ανθρώπινο δυναμικό της εταιρίας, αλλά με τη χρήση διαφόρων ειδών μεταφορικών ταινιών, των οποίων η επιλογή γίνεται ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή. Σχεδόν σε όλες τις ρομποτικές εφαρμογές που ενσωματώνουν Delta Robots, καθώς επίσης και λόγω τις φύσεως των αντικειμένων που μπορεί να αλληλοεπιδρά, γίνεται χρήση μεταφορικών ταινιών με ιμάντα. Έτσι και στη παρούσα εργασία εκτός από την υλοποίηση του Delta Robot, υλοποιήθηκε μία μεταφορική ταινία με ιμάντα κατάλληλων διαστάσεων, η οποία ενσωματώθηκε στο ρομποτικό σύστημα, με σκοπό τη μεταφορά των αντικειμένων προς συλλογή στο χώρο εργασίας του Delta Robot.

Έχοντας λύσει το πρόβλημα της μεταφοράς και της συλλογής των αντικειμένων, επόμενο και σημαντικό βήμα είναι η ανίχνευση των αντικειμένων αυτών. Η ανίχνευση αντικειμένων όντας ένα αρκετά μεγάλο κεφάλαιο ειδικά στις σύγχρονες βιομηχανικές εφαρμογές, καθώς υπάρχουν διάφορων ειδών αισθητήρια τα οποία χρησιμοποιούνται ανάλογα με τη φύση των αντικειμένων, αλλά και τις συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλοντα χώρο, σε εφαρμογές που απαιτείτε ακρίβεια και δεν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις ως προς την ανίχνευσή τους, το επικρατέστερο αισθητήριο είναι η κάμερα. Η χρήση της κάμερας στο ρομποτικό μας σύστημα, καθιστά δυνατή την ανίχνευση με αρκετά μεγάλη ακρίβεια των αντικειμένων που θέλουμε το Delta Robot να συλλέξει.

## **Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής**

Επίσης, για τη λειτουργία-οδήγηση των παραπάνω υποσυστημάτων είναι αναγκαία η υλοποίηση ενός κεντρικού controller για το ρομποτικό μας σύστημα. Η κύρια εργασία ενός τέτοιου controller είναι καταρχάς η οδήγηση του Delta Robot αρχικά στο σημείο συλλογής, και στη συνέχεια στο σημείο τοποθέτησης των αντικειμένων που αλληλοεπιδρά, στη κίνηση της μεταφορικής ταινίας η οποία μεταφέρει τα αντικείμενα προς συλλογή στο χώρο εργασίας του Delta Robot, και τέλος στην επικοινωνία με έναν κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Συνοψίζοντας, με την υλοποίηση όλων των παραπάνω υποσυστημάτων που αναφέρθηκαν επιτυγχάνθηκε ο σκοπός της παρούσας εργασίας, καθώς το ρομποτικό σύστημα της εργασίας δεν υπολείπεται σε τίποτα από ένα πραγματικό ίδιου τύπου βιομηχανικό ρομποτικό σύστημα, με τις βασικές διαφορές όσο αναφορά τις διαστάσεις του συνολικού συστήματος, τη ποιότητα κατασκευής του συστήματος, καθώς και των υλικών που το απαρτίζουν, αφού το κόστος για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας κρίθηκε αρκετά υψηλό, για την εκπόνηση μιας πτυχιακής εργασίας.

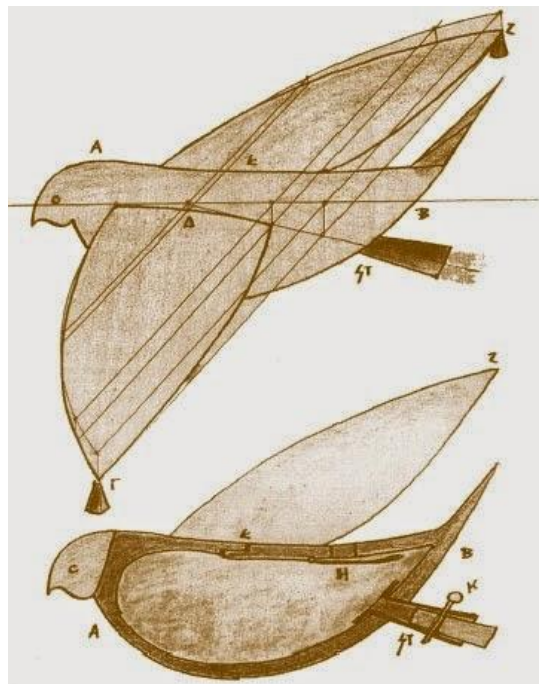
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή στη Ρομποτική

### 1.1 Η Ιστορία της Ρομποτικής

Ως πρωταρχικό σημείο αναφοράς τη λέξη ρομπότ, η οποία έχει προέρθει από τη τσέχικη λέξη *robota* που σημαίνει σκληρή δουλειά, και καθιερώθηκε ως όρος από τον Τσέχο συγγραφέα Κάρελ Τσάπεκ στο θεατρικό έργο του *Rossum's Universal Robots*, γίνεται ευθέως αντιληπτό ότι ένα οποιοδήποτε τύπου ρομπότ είναι πολύ απλά μια μηχανή την οποία έχει κατασκευάσει ο άνθρωπος με σκοπό να τον αντικαταστήσει, αλλά και να εκτελεί εργασίες που είναι φύση αδύνατο να εκτελεστούν από αυτόν.

Το πεδίο της ρομποτικής είναι αρκετά ευρύ και αφορά κυρίως τη σύγχρονη επιστήμη, καθώς τα τελευταία χρόνια παρατηρείτε μια τεράστια ανοδική πορεία. Όμως η ύπαρξη των ρομπότ με βάση τα ευρήματα επί αρχαιοτάτων χρόνων, φανερώνουν την ενασχόληση του ανθρώπου με τέτοιου είδους μηχανές, με κύριο σκοπό την εκτέλεση δύσκολων ή και επικίνδυνων εργασιών [1].

Ο μαθηματικός Αρχύτας το 400 με 350 πΧ κατασκεύασε το πρώτο ρομπότ που μας είναι μέχρι και σήμερα γνωστό, το οποίο ήταν ένα μηχανικό ατμοκίνητο περιστέρι. Το κυρίως υλικό από το οποίο είχε κατασκευαστεί το συγκεκριμένο ρομπότ-περιστέρι ήταν το ξύλο, και για να εκτελέσει οποιαδήποτε κίνηση χρησιμοποιούσε τη δύναμη του ατμού [2].

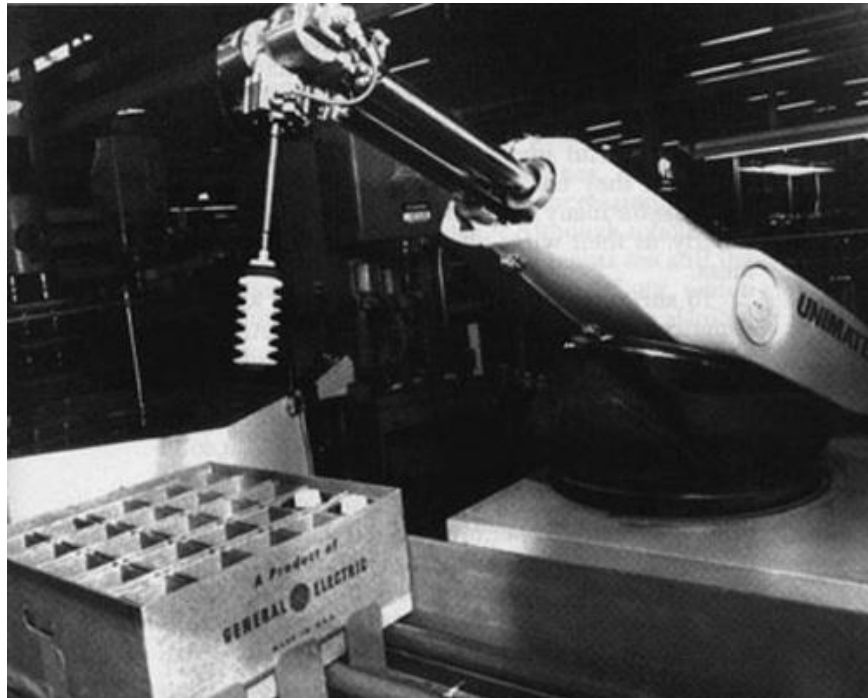


Εικόνα 1.1: Το ρομπότ-περιστέρι του Αρχύτα [2]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Καθώς ο άνθρωπος συνέχιζε να ασχολείται τόσο πειραματικά, αλλά και ερευνητικά με τη τεχνολογία της ρομποτικής, έγινε αναγκαία στη πλέον σύγχρονη βιομηχανία η δημιουργία ρομπότ που βασικός σκοπός τους ήταν η άνοδος της παραγωγικότητας με την ένταξή τους σε σύγχρονες γραμμές παραγωγής, καθώς επίσης μειώνοντας την ανθρώπινη παρέμβαση μειώνονται και τα τυχόν λάθη της όποιας διεργασίας.

Το 1956 η εταιρία του George Devol και του συνεργάτη του Joseph F. Engelberger, με την ονομασία Unimation, κατασκεύασε και παρήγαγε μαζί το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ. Για όλες τις κινήσεις των συγκεκριμένων βιομηχανικών ρομπότ χρησιμοποιήθηκαν υδραυλικοί ενεργοποιητές, καθώς και οι τιμές των γωνιών όλων των αρθρώσεων αποθηκευόντουσαν κατά τη διαδικασία της εκμάθησης. Βασικός σκοπός των ρομπότ ήταν η μετακίνηση διαφόρων αντικειμένων μεταξύ σημείων μέσα στο χώρο εργασίας του ρομπότ, καθώς η μέγιστη δυνατή απόσταση μετακίνησης των αντικειμένων έφθανε τα τέσσερα μέτρα [3].



Εικόνα 1.2: Robotic Arm Unimate [4]

## **1.2 Ο Ορισμός του Ρομπότ**

Με βάση τον ορισμό που έχει δώσει το Robot Institute of America, ρομπότ είναι μια επαναπρογραμματιζόμενη πολλαπλών χρήσεων μηχανή, η οποία έχει σχεδιαστεί με σκοπό τη μετακίνηση αντικειμένων, εξαρτημάτων, εργαλείων ή και ειδικών συσκευών-κατασκευών μέσω προγραμματισμένων κινήσεων, με απώτερο σκοπό την εκτέλεση διαφόρων εργασιών. Το πόσο ικανό είναι ένα ρομπότ κρίνεται από το πόσο ευέλικτο είναι κατά την εκτέλεση των επιθυμητών διεργασιών, πόσο γρήγορα τις εκτελεί, τη δυνατότητα χειρισμού όσο το δυνατόν μεγαλύτερων φορτίων, την ακρίβεια, καθώς και την επαναληψιμότητα κατά την εκτέλεση των διεργασιών.

## **1.3 Τα Πλεονεκτήματα και τα Μειονεκτήματα των Ρομπότ**

Η χρήση ενός ρομπότ προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως η μείωση του χρόνου εκτέλεσης των διεργασιών, η αύξηση της παραγωγικότητας, η αδιάκοπη λειτουργία, η αύξηση και η σταθεροποίηση της ποιότητας, η σίγουρη αξιοπιστία, η ακρίβεια καθώς και η επαναληψιμότητα κατά την εκτέλεση, η αυξημένη ασφάλεια σε επικίνδυνες διεργασίες, η μείωση του κόστους λόγω της μαζικής παραγωγής, η αυτοματοποίηση όλων των σταδίων της παραγωγής, η ευελιξία εκτέλεσης, η ευκολία στο χειρισμό αρκετά μεγάλων φορτίων, καθώς και η δυνατότητα εκτέλεσης διεργασιών σε αρκετά μικρή κλίμακα.

Εκτός από τα αρκετά πλεονεκτήματα, τα ρομπότ έχουν και αυτά μερικά μειονεκτήματα, όπως η αντιμετώπιση καταστάσεων που δεν έχουν υπολογισθεί και είναι εκτός των δυνατοτήτων τους, η ελλιπής αισθητήρια αντίληψη, η ανθρώπινη παρέμβαση τόσο για τον προγραμματισμό, αλλά και για την γενικότερη επιτήρησή τους, η μη ασφαλής αλληλεπίδραση με τους ανθρώπους, η μη αξιόπιστη λειτουργία σε νέο και μη βέβαιο περιβάλλον, με κάθε αλλαγή της προκαθορισμένης εκτελούμενης διεργασίας είναι αναγκαίος ο εκ νέου προγραμματισμός τους, και τέλος το σχετικά ακριβό κόστος συντήρησής τους.

## **1.4 Τα Είδη των Ρομπότ**

Καθώς η τεχνολογία της ρομποτικής εξελίσσεται με το πέρασμα των χρόνων, έχουν προκύψει πάρα πολλά διαφορετικά είδη ρομπότ τα οποία χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές εργασίες. Καθώς όμως μπορεί να έχουν αρκετά μεγάλες διαφορές όσο αναφορά τη βασική μορφολογία τους, απαρτίζονται από τα ίδια κοινά υποσυστήματα, το μηχανολογικό υποσύστημα, το κινητήριο υποσύστημα, το αισθητήριο υποσύστημα, και το υποσύστημα του ελέγχου. Τα βασικότερα είδη είναι τα εξής:

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

### 1) Σταθερής Βάσης:

Τα ρομπότ σταθερής βάσης απαρτίζονται από αλληλουχίες στερεών σωμάτων που ονομάζονται σύνδεσμοι, οι οποίοι στη συνέχεια συνδέονται μεταξύ τους μέσω διαφόρων ειδών αρθρώσεων. Τα ρομπότ αυτά έχουν το ένα άκρο τους το οποίο ονομάζεται βάση, σταθερά στερεωμένο σε κάποιο στερεό σημείο του περιβάλλοντα χώρου εργασίας. Τέτοιου είδους ρομπότ είναι η πιο συνηθισμένη μορφή ενός βιομηχανικού ρομπότ.



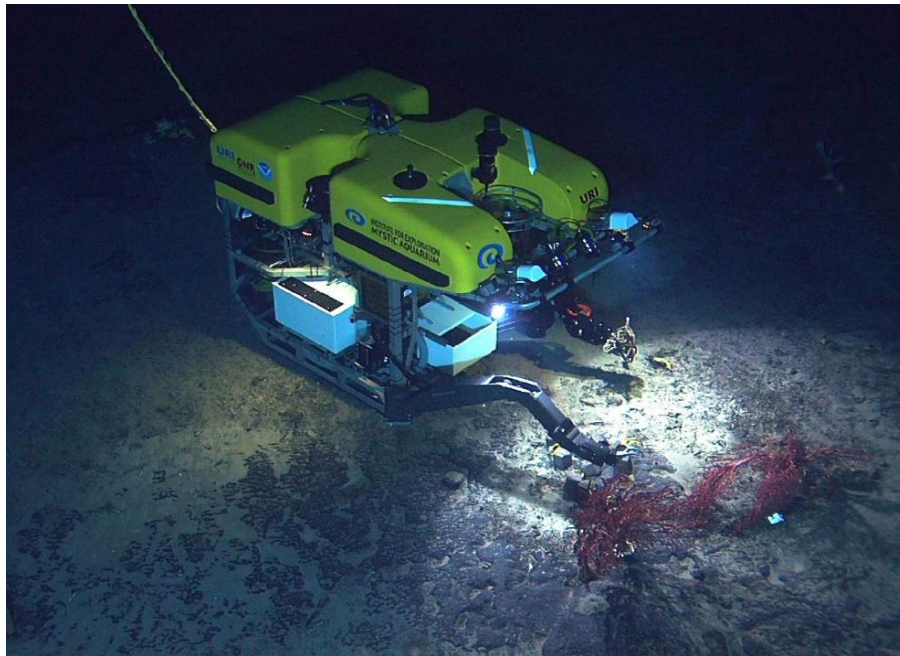
Εικόνα 1.3: ABB - 6DOF Palletizing Robotic Arm [5]

### 2) Κινούμενα:

Κινητά ρομπότ είναι όλα τα ρομπότ τα οποία έχουν την δυνατότητα να μετακινούν όλα τα σημεία του μηχανισμού τους. Για να επιτευχθεί η δυνατότητα αυτή το ρομπότ χρειάζεται να έχει ειδικά συστήματα προώθησης, τα οποία μπορεί να είναι είτε απλοί τροχοί, ως και προπέλες, μηχανικά πόδια μέχρι και μηχανές jet. Για αυτό το λόγο τα κινητά ρομπότ χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό αυτονομίας του κάθε ρομπότ.

#### 2.1) Remotely Operated Vehicles:

Τα συγκεκριμένα ρομπότ ανήκουν στη κατηγορία των τηλεχειριζόμενων ρομπότ. Ο βαθμός αυτονομίας τους είναι πάρα πολύ μικρός, και για το λόγο αυτό είναι διαρκώς συνδεδεμένα με τη χρήση καλωδίων, με τα οποία καλύπτουν τις ενεργειακές τους ανάγκες, αλλά ταυτόχρονα χρησιμεύουν και στην επικοινωνία τους με τον ανθρώπινο χειριστή.



Εικόνα 1.4: NOAA - Ocean Explorer[6]



### 2.2) Automatic Guided Vehicles:

Τα AGV ρομπότ είναι περιορισμένα όσο αναφορά το εύρος και την αυτονομία των κινήσεών τους, καθώς οι διεργασίες τους έχουν προκαθοριστεί και οριοθετηθεί μέσω διαφόρων αισθητηρίων, πομπών, ή και επίγειων καλωδίων, τα οποία βρίσκονται μέσα στον επιθυμητό χώρο εργασίας που μπορούν να δράσουν.



Εικόνα 1.5: SSI Schäfer – Weasel [7]

### 2.3) Autonomous Wheeled Vehicles:

Τα πλήρως αυτόνομα ρομπότ έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν δίχως την επίβλεψη του ανθρώπου, καθώς μπορούν να εκτελούν διεργασίες αυτόνομα λαμβάνοντας ελάχιστες υψηλού επιπέδου από τον χειριστή εντολές.



Εικόνα 1.6: Mercedes-Benz F015 (Self-Driving Car) [8]

### 2.4) Autonomous Underwater Vehicles:

Τα AUVs είναι εξολοκλήρου αυτόνομα και για το λόγο αυτό δεν χρησιμοποιούν καθόλου εξωτερικά καλώδια. Η τροφοδοσία τους γίνεται μέσω ειδικών μπαταριών, οι οποίες όμως εισάγουν κάποιους περιορισμούς ως προς την αυτονομία του εκάστοτε ρομπότ. Τα συγκεκριμένα ρομπότ έχουν συνήθως το σχήμα μιας τορπίλης, ενώ παράλληλα μπορούν να αναπτύξουν αρκετά μεγάλες ταχύτητες.



Εικόνα 1.7: AUV - Sparus 2 [9]

### 2.6) Flying Robots:

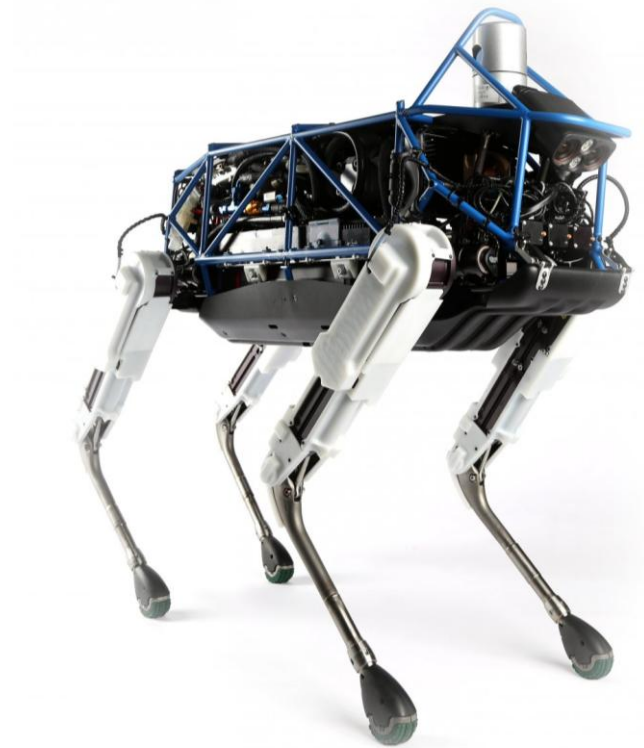
Σχεδόν όλα τα εναέρια ρομπότ είναι κατά βάση μη επανδρωμένα, και τα οποία έχουν συνήθως τη μορφή αεροπλάνων ή και ελικοπτέρων. Λόγω της μορφολογίας τους, τέτοιου είδους ρομπότ έχουν πολλές εφαρμογές, παρόλα αυτά επειδή δεν παρέχουν αρκετά μεγάλη ασφάλεια, αλλά και σταθερότητα λόγω της συμπεριφοράς τους, η κύρια εφαρμογή τους αφορά κατά βάση στρατιωτικούς σκοπούς.



Εικόνα 1.8: NASA - Helios [10]

### 2.3) Walking Robots:

Για τη κίνηση τους τα συγκεκριμένα ρομπότ έχουν τεχνητά ηλεκτρομηχανικά πόδια. Τα κύρια πλεονεκτήματα των μηχανικών ποδιών είναι η βασική και κύρια δυνατότητα αποφυγής δύσκολων εμποδίων, καθώς και η ευκολία αναρρίχησης ανώμαλων και μη επίπεδων επιφανειών. Η μορφολογία αυτών των ρομπότ ποικίλει από δίποδα, ως και ρομπότ με πολλά παραπάνω από δύο πόδια, καθώς υπάρχουν και ρομπότ που προσπαθούν να αντιγράψουν τις κινήσεις υπαρκτών ζωντανών οργανισμών.



Εικόνα 1.9: Boston Dynamics – Spot [11]

Όλα τα παραπάνω είδη ρομπότ που αναφέρθηκαν απαρτίζονται από όλα τα υποσυστήματα που είχαν προαναφερθεί στη προηγούμενη ενότητα. Στην επόμενη ενότητα θα γίνει η ανάλυση αυτών των υποσυστημάτων, καθώς και των ρομπότ σταθερής βάσης, στα οποία τα περισσότερα βιομηχανικά ρομπότ ανήκουν. Τα βιομηχανικά ρομπότ στη σημερινή εποχή έχουν φθάσει σε ένα αρκετά υψηλό επίπεδο τεχνολογικής ωριμότητας, για το οποίο ευθύνεται η μεγάλη αλλά και ευρεία εφαρμογή τους σε πάρα πολλούς τομείς της βιομηχανίας. Κάτι τέτοιο όμως δεν αποκλείει την εξέλιξη των υπόλοιπων κατηγοριών ρομπότ με τη πάροδο του χρόνου, και την εξέλιξη της τεχνολογίας.

## 1.5 Εισαγωγή στη Βιομηχανική Ρομποτική

Ο τομέας της βιομηχανικής ρομποτικής είναι ίσως ο πιο ανεπτυγμένος τομέας της ρομποτικής μέχρι σήμερα. Το κύριο είδος ενός βιομηχανικού ρομπότ που έχει επικρατήσει είναι οι ρομποτικοί βραχίονες, οι οποίοι έχουν συνήθως 6 βαθμούς ελευθερίας. Εκτός όμως από τους βραχίονες, ένας δεύτερος τύπος ρομπότ που έχει επικρατήσει για εργασίες που αφορούν κατά κύριο λόγο ταχεία μετακίνηση ελαφριών αντικειμένων, είναι τα ρομπότ τύπου Delta. Όμως σε κάθε βιομηχανικό ρομπότ ανεξαρτήτως τη μορφολογία του, απαρτίζεται από τρία βασικά υποσυστήματα.

**1)** Το πρώτο υποσύστημα είναι το μηχανικό μέρος. Το μηχανικό μέρος αποτελείται από τους συνδέσμους, τις αρθρώσεις και τέλος από το τελικό εργαλείο δράσης το οποίο θα μπορούσε να είναι είτε μια μηχανική αρπάγη, ή μια βεντούζα vacuum, καθώς η επιλογή του εξαρτάτε πάντα από την εκάστοτε διεργασία προς εκτέλεση.

**2)** Το δεύτερο υποσύστημα είναι οι ενεργοποιητές. Οι ενεργοποιητές οι οποίοι μπορεί να είναι είτε ηλεκτροκινητήρες, είτε ρευστομηχανικοί ενεργοποιητές, προσδίδουν όλες τις απαραίτητες κινήσεις σε ένα βιομηχανικό ρομπότ.

**3)** Το τελευταίο υποσύστημα είναι το υποσύστημα των αισθητήρων. Οι αισθητήρες λειτουργούν ως την όραση, αλλά την και αφή ενός βιομηχανικού ρομπότ, καθώς επίσης χρησιμοποιούνται και για τον έλεγχό του.

Οι ικανότητες ενός βιομηχανικού ρομπότ λόγω των εργασιών που εκτελεί, οι οποίες συνήθως αφορούν μεταφορά μικρών ή και μεγάλων αντικειμένων όσο το δυνατόν ταχύτερα, με την ίδια επαναληψιμότητα, αλλά και με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια, μας έχει οδηγήσει να κατηγοριοποιούμε κάθε βιομηχανικό ρομπότ με βάση τα εξής παρακάτω μεγέθη:

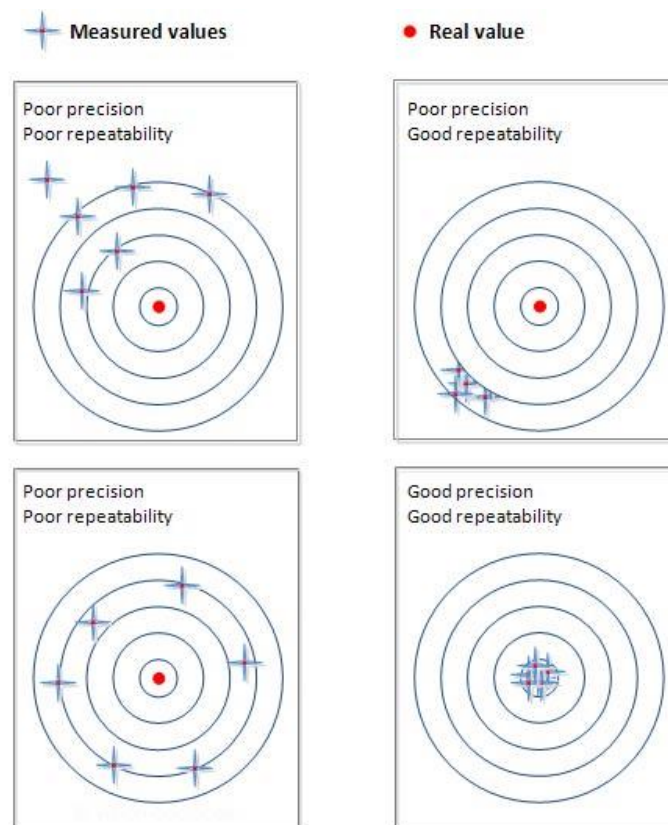
**1) Ωφέλιμο φορτίο:** Είναι το μέγιστο βάρος που μπορεί να μετακινήσει ένα βιομηχανικό ρομπότ. Το βάρος του φορτίου που θα μετακινηθεί ορίζεται από το συνολικό φορτίο που εφαρμόζεται από τη φλάντζα του καρπού και ύστερα. Το προδιαγραφόμενο βάρος του φορτίου δεν παραμένει σταθερό, αλλά συνεπάγεται με τη ταχύτητα την οποία θα κινηθεί ο καρπός, άρα και η φλάντζα του βιομηχανικού ρομπότ.

**2) Επαναληψιμότητα:** Είναι η ικανότητα του βιομηχανικού ρομπότ να επιστρέφει στο ίδιο ακριβώς σημείο ύστερα από πάρα πολλές συνεχόμενες επαναλήψεις της ίδιας διεργασίας, και ορίζεται ως το συνολικό εύρος απόκλισης της απόστασης στο οποίο το ρομπότ θα σταματήσει τη διεργασία του. Η συγκεκριμένη μη θεμιτή απόκλιση εισάγεται κατά τη διάρκεια κίνησης του

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

ρομπότ, καθώς λόγω εσφαλμένης μέτρησης της θέσης του είναι αδύνατο να επιστρέψει στην ίδια ακριβώς θέση. Η επαναληψιμότητα λόγω της φύσης στο σύνολο των βιομηχανικών διεργασιών, οι οποίες χρίζουν αρκετά μεγάλης προσοχής, δημιουργούν την ανάγκη για βιομηχανικά ρομπότ με υψηλό ποσοστό επαναληψιμότητας.

**3) Ακρίβεια:** Είναι η δυνατότητα ενός βιομηχανικού ρομπότ να μετακινείται στην συγκεκριμένη θέση την οποία του έχει ορίσει ο χειριστής να πάει. Για να πετύχει ένα βιομηχανικό ρομπότ αρκετά υψηλή ακρίβεια, θα πρέπει το υποσύστημα ελέγχου να διαθέτει αρκετά καλή διακριτικότητα, στιβαρό μηχανολογικό υποσύστημα, και το ελάχιστο δυνατό σφάλμα στην ευστάθεια των σερβοκινητήρων κατά τη λειτουργία τους. Το μέγεθος, καθώς και το είδος του φορτίου επιφέρει διαφορετική ανακρίβεια στην εκάστοτε διεργασία σε ένα βιομηχανικό ρομπότ.



Εικόνα 1.10: Precision and Repeatability [12]

## 1.6 Μηχανική Δομή Βιομηχανικών Ρομπότ

Τα κύρια μηχανικά στοιχεία που απαρτίζουν ένα βιομηχανικό ρομπότ είναι η σταθερή του βάση, οι αρθρώσεις του, και οι σύνδεσμοι. Στα περισσότερα βιομηχανικά ρομπότ, το ένα άκρο τους είναι σταθερά στερεωμένο σε μια βάση, και στο άλλο άκρο τους έχουν κάποιο εργαλείο τελικής δράσης, το οποίο εναλλάσσετε με βάση την εκάστοτε διεργασία που πρέπει να εκτελέσουν.

Η βάση είναι ακλόνητα πακτωμένη στο χώρο τον οποίο δρα και εκτελεί διεργασίες το βιομηχανικό ρομπότ. Ξεκινώντας λοιπόν από τη βάση, στην οποία ξεκινά η αλυσίδα συνδέσμων και αρθρώσεων, φθάνουμε στο άλλο άκρο του ρομπότ, εκεί που είναι ενσωματωμένο το στοιχείο τελικής δράσης.

Ο κάθε σύνδεσμος είναι ένα στερεό σώμα, όπου όλοι μαζί απαρτίζουν το σασί-σώμα του ρομπότ. Η άρθρωση είναι κατά βάση ένας μηχανισμός, ο οποίος προσδίδει τη δυνατότητα κίνησης των συνδέσμων μεταξύ τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αρίθμηση τόσο των συνδέσμων αλλά και των αρθρώσεων ξεκινάει από τη βάση του ρομπότ μέχρι το στοιχείο τελικής δράσης.

Το τελικό στοιχείο δράσης είναι στην ουσία το τελικό εργαλείο που χρησιμοποιεί το ρομπότ για να εκτελέσει μία οποιαδήποτε διεργασία.



Εικόνα 1.11: Μηχανική δομή βιομηχανικού ρομπότ [13]



## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Για κάθε διαφορετική διεργασία που αναλαμβάνει να εκτελέσει ένα βιομηχανικό ρομπότ, χρησιμοποιεί και το ανάλογο στοιχείο τελικής δράσης. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι κατσαβίδια, πιστόλια μπογιάς, διαφόρου τύπου ηλεκτροσυγκολλητές, με το κυριότερο στοιχείο τελικής δράσης που χρησιμοποιείτε στις περισσότερες διεργασίες να είναι η αρπάγη, είτε αυτή είναι μηχανική ή πνευματική, καθώς οι κυριότερες διεργασίες που αναλαμβάνουν τα ρομπότ είναι pick and place διεργασίες. Σχεδόν όλα τα εργαλεία τελικής δράσης βρίσκονται στερεωμένα σε μία μεταλλική βάση, η οποία στη συνέχεια καταλήγει σε έναν κοχλία, και στη συνέχεια ο κοχλίας ενσωματώνεται στην φλάντζα του ρομπότ, όπου ανήκει στη τελευταία άρθρωση του βιομηχανικού ρομπότ.

Ο τελευταίος σύνδεσμος ενός βιομηχανικού ρομπότ σχηματίζεται από το στοιχείο τελικής δράσης και τη βάση στην οποία στηρίζεται. Έτσι λόγω της διαφοράς στις διαστάσεις του κάθε εργαλείου τελικής δράσης ορίζετε ένα σημείο, όπως για παράδειγμα η μύτη από ένα εργαλείο τύπου κατσαβίδι, ή το σημείο που τα δάκτυλα της αρπάγης ενώνονται, η θέση του οποίου καθιστάτε κύριας σημασίας για τη σωστή ολοκλήρωση της εκάστοτε διεργασίας από το βιομηχανικό ρομπότ.

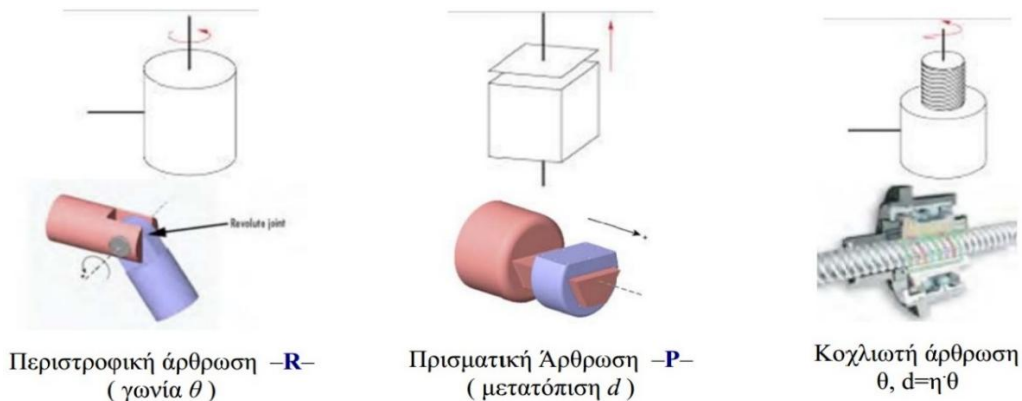
Η ονομασία του σημείου αυτού έχει οριστεί ως κύριο σημείο του στοιχείου τελικής δράσης. Εκτός όμως από την αλλαγή της θέσης του σημείου με κάθε διαφορετικό εργαλείο που χρησιμοποιεί το βιομηχανικό ρομπότ, το σημείο ενδέχεται να αλλάζει θέση σύμφωνα με τις προϋποθέσεις της κάθε διεργασίας.



Εικόνα 1.12: Robotiq - End Effectors Tools [14]

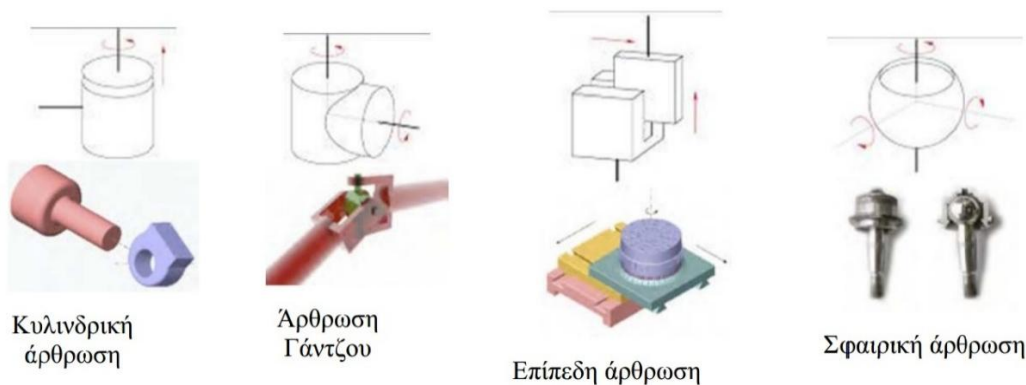
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Οι βασικές αρθρώσεις ενός βιομηχανικού ρομπότ με έναν βαθμό ελευθερίας είναι οι πρισματικές, οι περιστροφικές, και τέλος οι κοχλιωτές. Δύο σύνδεσμοι που ενώνονται με μία πρισματική άρθρωση έχουν τη δυνατότητα μετατόπισης σε ευθεία, με μέγιστο μήκος το οποίο ορίζεται από την άρθρωση. Δύο σύνδεσμοι που ενώνονται με μία περιστροφική άρθρωση, έχουν τη δυνατότητα περιστροφής μεταξύ τους.



Εικόνα 1.13: Αρθρώσεις Ενός Βαθμού Ελευθερίας [15]

Πέρα από τις ενός βαθμού ελευθερίας αρθρώσεις, υπάρχουν και αρθρώσεις με πολλαπλούς βαθμούς ελευθερίας όπως είναι η σφαιρική άρθρωση, η κυλινδρική άρθρωση, η επίπεδη άρθρωση, και η άρθρωση τύπου γάντζου. Αυτού του τύπου οι αρθρώσεις ονομάζονται σύνθετες, και αναλύονται ως σύνθεση δύο ή και περισσότερων από δύο βασικές αρθρώσεις. Για παράδειγμα η σφαιρική άρθρωση μπορεί να αναλυθεί ως δύο περιστροφικές αρθρώσεις οι οποίες έχουν κάθετους άξονες περιστροφής. Έτσι για την απλούστευση της κινηματικής ανάλυσης των βιομηχανικών ρομπότ, κάθε άρθρωση η οποία δεν ανήκει στις βασικές αρθρώσεις, αναλύεται ως σύνθεση των βασικών αρθρώσεων από τις οποίες αποτελείται.



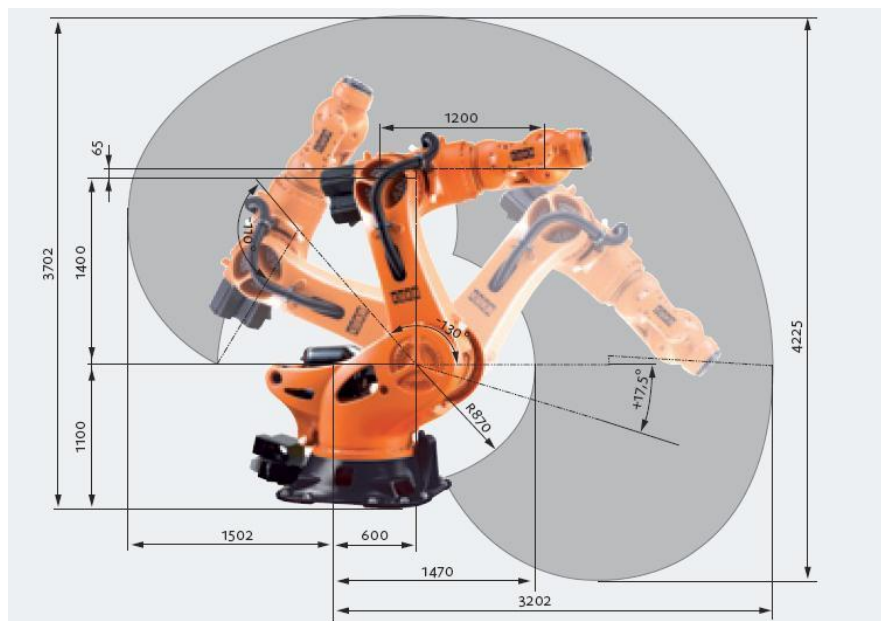
Εικόνα 1.14: Αρθρώσεις Περισσότερων Βαθμών Ελευθερίας [15]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι βαθμοί κινητικότητας είναι διαφορετικοί από τους βαθμούς ελευθερίας που χρειάζονται για την εκτέλεση μιας διεργασίας από ένα βιομηχανικό ρομπότ. Ο αριθμός των βαθμών κινητικότητας ενός βιομηχανικού ρομπότ είναι ίσος με τον αριθμό των αρθρώσεων, ανεξάρτητα εάν αυτές είναι περιστροφικές ή πρισματικές. Όμως το πόσους βαθμούς ελευθερίας χρειαζόμαστε εξαρτάτε από τη φύση της διεργασίας που έχουμε θέσει στο ρομπότ.

Για τη τοποθέτηση και τον προσανατολισμό ενός αντικειμένου στον τριών διαστάσεων χώρο, το ρομπότ χρειάζεται να έχει έξι βαθμούς ελευθερίας. Τρεις για την τοποθέτηση του αντικειμένου στο χώρο εργασίας με βάση ένα ακλόνητο σημείο, και άλλες τρεις για τον προσανατολισμό του αντικειμένου ως προς ένα πάλι ακλόνητο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Κάθε βιομηχανικό ρομπότ το οποίο έχει έξι βαθμούς ελευθερίας είναι ικανό να εκτελέσει μία τέτοια διεργασία, καθώς και όλες τις υπόλοιπες διεργασίες που είναι αναγκαίοι ως και οι έξι βαθμοί ελευθερίας.

Ο χώρος εργασίας ενός βιομηχανικού ρομπότ είναι στην ουσία ο τρισδιάστατος χώρος που αποτελείται από το σύνολο των σημείων τα οποία μπορεί το άκρο του ρομπότ να προσεγγίσει. Η μορφή, καθώς και το συνολικό μέγεθος του χώρου εργασίας κρίνονται από τη μηχανολογική μορφολογία του βιομηχανικού ρομπότ [15] [16] [17].



Εικόνα 1.15: Χώρος εργασίας βιομηχανικού ρομπότ 6 Dof Kuka [18]

## 1.7 Τα Είδη των Ενεργοποιητών

Κάθε άρθρωση είτε αυτή είναι πρισματική είτε είναι περιστροφική, χρειάζεται να είναι ενωμένη με κάποιον ενεργοποιητή, ούτως ώστε να μπορέσει να κινήσει τον σύνδεσμο με τον οποίο είναι συνδεδεμένη, εφαρμόζοντας κάποια εξωτερική δύναμη.

Για τη μετάδοση της επιθυμητής κίνησης του βιομηχανικού ρομπότ από τον ενεργοποιητή στην άρθρωση και στη συνέχεια στον σύνδεσμο, υλοποιείτε είτε κατευθείαν μετάδοση με τη χρήση άξονα, είτε μετάδοση με τη χρήση γραναζιών εμπλοκής, είτε με ιμάντα χρονισμού, είτε με κοχλία.

Στα βιομηχανικά κλειστής κινηματικής αλυσίδας ρομπότ, αρκετές από τις αρθρώσεις τους είναι κατά κύριο λόγο παθητικές, κάτι το οποίο σημαίνει ότι δεν έχουν απολύτως καμία σύνδεση με κανέναν από τους ενεργοποιητές του ρομπότ.

Τα τρία βασικά είδη ενεργοποιητών που χρησιμοποιούνται σε ένα βιομηχανικό ρομπότ είναι τα εξής:

- 1) Οι πνευματικοί κύλινδροι.
- 2) Οι υδραυλικοί κύλινδροι.
- 3) Οι ηλεκτροκινητήρες.

## 1.8 Πνευματικοί Ενεργοποιητές

Η ορολογία των πνευματικών ενεργοποιητών προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη πνεύμα η οποία σημαίνει αιθέρας. Έτσι η συγκριμένη ορολογία χρησιμοποιείτε κατά κόρον για όλα τα συστήματα που λειτουργούν με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα, με απώτερο σκοπό την επιθυμητή κίνηση των πνευματικών ενεργοποιητών.

Σε κάθε βιομηχανική εγκατάσταση υπάρχει παροχή πεπιεσμένου αέρα, με τη χρήση εμβολοφόρων ή και κοχλιοφόρων αεροσυμπιεστών, καθώς και το κατάλληλο δίκτυο διανομής σε κάθε σημείο που απαιτείται από την εκάστοτε εγκατάσταση.

Συνήθως η χρήση πνευματικών ενεργοποιητών γίνεται για διεργασίες στις οποίες θέλουμε να μετακινήσουμε ελαφριά φορτία λόγω του ότι η μέγιστη πίεση για ένα τέτοιο σύστημα είναι τα 10 bar, καθώς επιθυμούμε μεγάλη ταχύτητα, ή πολύ απλά την πιο φθηνή λύση για την συγκεκριμένη διεργασία, ενώ ενδείκνυνται για τις περισσότερες εφαρμογές αυτοματισμού.

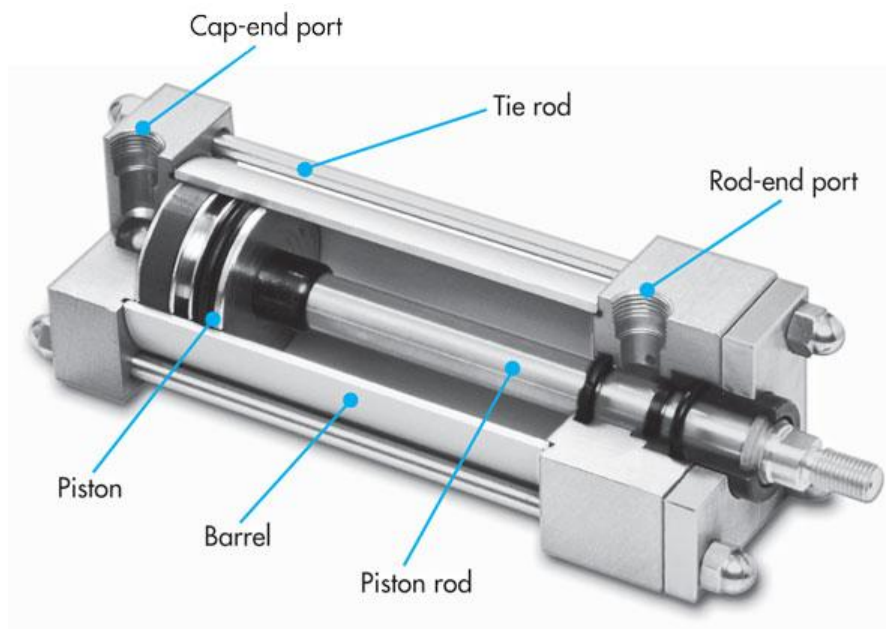
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Τα πλεονεκτήματα των πνευματικών ενεργοποιητών είναι τα εξής:

- 1) Χαμηλό κόστος.
- 2) Υψηλή ταχύτητα.
- 3) Μηδενική ζημιά σε υπερφόρτιση.
- 4) Χρήση σε εργαστηριακό περιβάλλον.
- 5) Χωρίς γραμμή επιστροφής.
- 6) Κοινή πηγή ενέργειας ειδικά στη βιομηχανία.
- 7) Ευκολία στη σύνθεση ρομποτικών συστημάτων.

Τα μειονεκτήματα των πνευματικών ενεργοποιητών είναι τα εξής:

- 1) Η συμπιεστότητα του αέρα εισάγει περιορισμούς στον έλεγχο, άρα και στην ακρίβεια.
- 2) Η θορυβώδης λειτουργία λόγω εξαερώσεων.
- 3) Η πιθανότητα διαρροής πεπιεσμένου αέρα.
- 4) Ο έξτρα εξοπλισμός για τη ξήρανση και τη φίλτρανση του αέρα.



Εικόνα 1.16: Πνευματικός Ενεργοποιητής [19]

## 1.9 Υδραυλικοί Ενεργοποιητές

Οι υδραυλικοί ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία κατά κόρον, καθώς υπάρχουν αρκετές εταιρίες που ειδικεύονται στη κατασκευή τέτοιων υδραυλικών συστημάτων.

Κάθε υδραυλικό σύστημα αποτελείται από τα εξής παρακάτω υποσυστήματα:

- 1) Από τη κεντρική μονάδα παροχής υδραυλικής ισχύος, η οποία περιλαμβάνει το κεντρικό δοχείο λαδιού, μία αντλία, και τον ανάλογο ηλεκτροκινητήρα που της προσδίδει κίνηση.
- 2) Από τις βαλβίδες ελέγχου ροής και πίεσης, της παροχής υδραυλικής ισχύος.
- 3) Και από τους γραμμικούς (κυλίνδρους) ή περιστροφικούς (κινητήρες) ενεργοποιητές, για τη μετατροπή της υδραυλικής ισχύος σε παραγόμενο ωφέλιμο έργο.

Οι υδραυλικοί ενεργοποιητές δουλεύουν σε αρκετά υψηλότερη πίεση από τους αντίστοιχους πνευματικούς, άρα είναι χρήσιμοι σε εφαρμογές όπου κρίνεται απαραίτητο να εφαρμοστούν αρκετά μεγάλες δυνάμεις ή ροπές.

Η μέγιστη πίεση που μπορεί να λειτουργήσει ένα τέτοιο υδραυλικό σύστημα είναι τα 500 bar, καθώς το υλικό που χρησιμοποιείτε είναι ουσιαστικά μη συμπιεστό, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα βέλτιστης ακρίβειας για τον έλεγχο της κίνησής τους.

Το κύριο πλεονέκτημα των υδραυλικών ενεργοποιητών είναι η άψογη αναλογία ισχύος-βάρους, καθώς για εφαρμογές που είναι απαραίτητη η μετακίνηση τεράστιων φορτίων, ή εφαρμογές με απαιτήσεις για μέγιστη επιτάχυνση, οι υδραυλικοί ενεργοποιητές είναι η βασική λύση. Το κύριο μειονέκτημά τους είναι το αρκετά υψηλό κόστος μιας τέτοιου είδους εγκατάστασης [19].

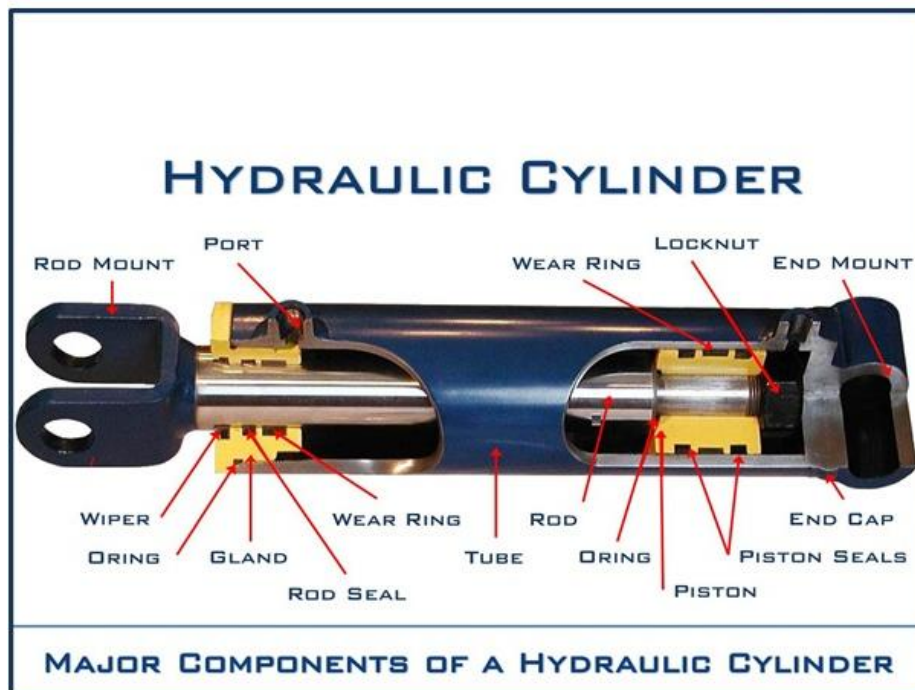
Τα πλεονεκτήματα των υδραυλικών ενεργοποιητών είναι τα εξής:

- 1) Χειρισμός αρκετά μεγάλου φορτίου.
- 2) Υψηλή σχέση ισχύος-βάρους.
- 3) Παραμονή στην ίδια θέση λόγω της μη συμπιεστότητας του λαδιού.
- 4) Καλός έλεγχος σερβομηχανισμού.
- 5) Αυτολιπενόμενο και αυτοψυχόμενο σύστημα.
- 6) Λειτουργία χωρίς ζημιά σε συνθήκες υπερφόρτισης.
- 7) Γρήγορη απόκριση.
- 8) Ασφάλεια σε εύφλεκτο και εκρηκτικό περιβάλλον.
- 9) Αρκετά ομαλή λειτουργία σε χαμηλές ταχύτητες.

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Τα μειονεκτήματα των υδραυλικών ενεργοποιητών είναι τα εξής:

- 1) Υψηλό κόστος.
- 2) Προβλήματα στη συντήρηση των στεγανών από όπου προκαλούνται διαρροές.
- 3) Ακατάλληλοι για χρήση σε υψηλές ταχύτητες.
- 4) Απαραίτητη γραμμή επιστροφής λαδιού.
- 5) Αδυναμία κατασκευής σε αρκετά μικρές διαστάσεις.
- 6) Χρήση εξωτερικής μονάδας ισχύος, και πολύπλοκος περιφερειακός εξοπλισμός [19].



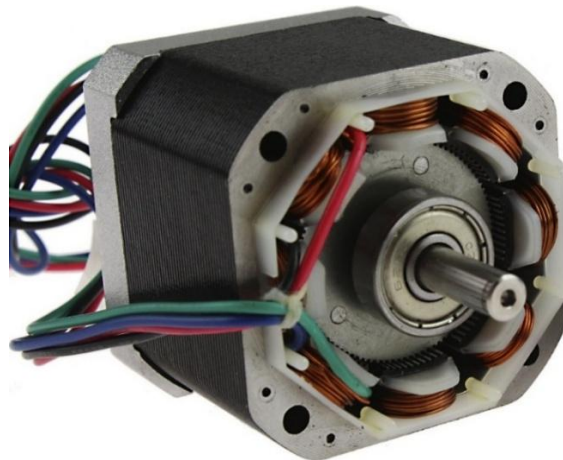
Εικόνα 1.17: Υδραυλικός Ενεργοποιητής [19]

## 1.10 Ηλεκτρικοί Κινητήρες

Η ανακάλυψη και η ευρεία χρήση του ηλεκτρομαγνητισμού κατέστησε δυνατή την έρευνα στο τομέα των ηλεκτρικών κινητήρων, καθώς οι αλλαγές που επέφεραν έχουν αλλάξει δραστικά τη καθημερινότητά μας. Ένας ηλεκτροκινητήρας είναι στη ουσία ένα σύστημα που χρησιμεύει στη μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική, καθώς τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται κατά κόρον σχεδόν σε όλες τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Η δύναμη Laplace είναι η κινητήριος δύναμη ενός τέτοιου ηλεκτροκινητήρα, καθώς όταν ένας αγωγός ηλεκτρισμού διαρρέετε από ηλεκτρικό ρεύμα, και βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο, ασκούνται δυνάμεις πάνω του. Στα βιομηχανικά ρομπότ έχουν κυριαρχήσει 2 είδη ηλεκτροκινητήρων:

- 1) Οι βηματικοί κινητήρες.
- 2) Οι σερβοκινητήρες.

Οι βηματικοί κινητήρες είναι ένα ηλεκτρομηχανικό σύστημα, όπου ο άξονας του περιστρέφεται σε συνεχόμενα διακριτά και σταθερά βήματα, τα οποία διαφοροποιούνται σε πλήθος, λαμβάνοντας συγκεκριμένης ακολουθίας τάση σε παλμούς, ως είσοδο στους εξωτερικούς ακροδέκτες του. Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος εφαρμογών, εξαιτίας του μοναδικού τρόπου λειτουργίας τους. Για να οδηγηθεί ένας βηματικός κινητήρας χρησιμοποιούνται αρκετές διαφορετικές τεχνικές, οι οποίες έχουν κάποια πλεονεκτήματα αλλά και κάποια μειονεκτήματα, ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή. Έτσι με τη χρήση του κατάλληλου βηματικού κινητήρα, αλλά και του συστήματος οδήγησης γίνεται η βέλτιστη επιλογή, ούτως ώστε τα πλεονεκτήματα να είναι περισσότερα από ότι τα μειονεκτήματα, για τη σωστή επίλυση της εφαρμογής.

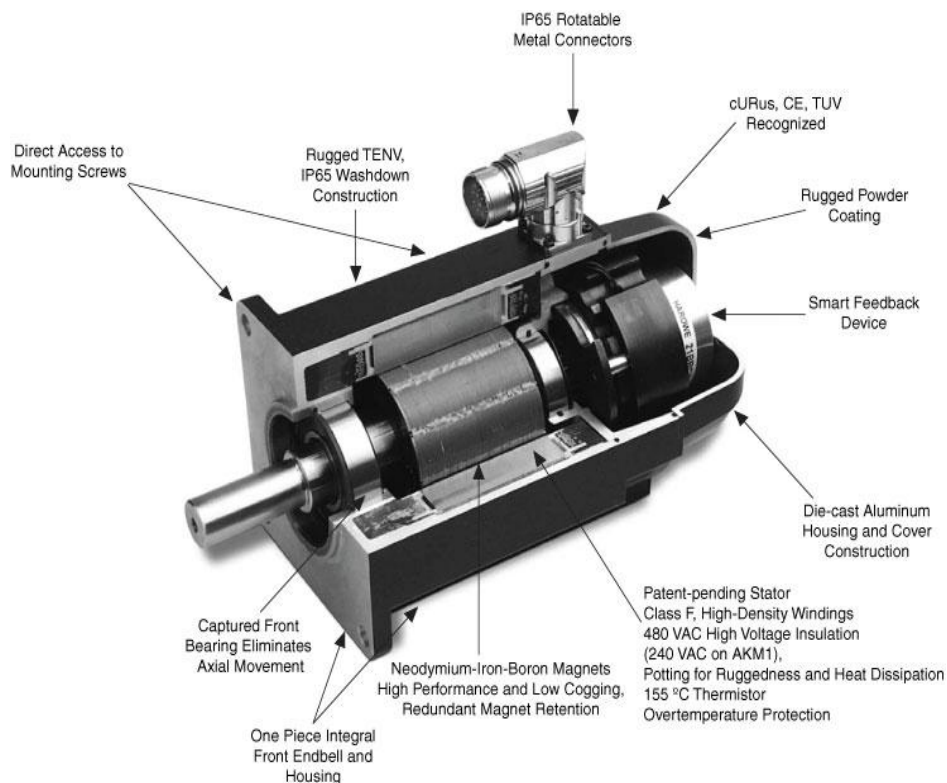


Εικόνα 1.18: Βηματικός Κινητήρας [20]



## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Οι σερβοκινητήρες είναι ανώτερης κατασκευής ηλεκτροκινητήρες, οι οποίοι είναι χρήσιμοι για υπερβολικά αστραπιαίες εναλλαγές θέσης, ταχύτητας και επιτάχυνσης, καθώς μπορούν να ανταπεξέλθουν και σε εφαρμογές όπου απαιτούνται μεγάλα ποσά εφαρμογής ροπών. Οι σερβοκινητήρες είναι αρκετά όμοιοι με τους απλούς κινητήρες, με τη διαφορά όμως ότι έχουν ενσωματωμένο αισθητήριο σύστημα ανάδρασης, όπου με τη χρήση καταλλήλου συστήματος οδήγησης του κινητήρα, μπορεί να υλοποιηθεί έλεγχος της θέσης, της ταχύτητας, ή της ροπής του σερβοκινητήρα, καθώς είναι το βασικό τους πλεονέκτημα έναντι των υπόλοιπων ειδών κινητήρων. Οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται σε πάρα πολλές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στο μηχανοκίνητο μοντελισμό, σε αρκετές οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, σε CD-DVD drives, σε μεγάλο πλήθος βιομηχανικών εγκαταστάσεων, με κυριότερη εφαρμογή από όλες τη ρομποτική, καθώς λειτουργούν ως το μυϊκό-κινητικό σύστημα ενός ρομπότ.



Εικόνα 1.19: Σερβοκινητήρας [21]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Τα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών κινητήρων είναι τα εξής:

- 1) Ταχύτητα και ακρίβεια.
- 2) Υψηλό επίπεδο εφαρμογής τεχνικών ελέγχου.
- 3) Αρκετά οικονομικοί.
- 4) Ταχεία ανάπτυξη νέων ρομπότ.

Τα μειονεκτήματα των ηλεκτρικών κινητήρων είναι τα εξής:

- 1) Πολύστροφοι με αρκετά χαμηλή ροπή, απαραίτητη χρήση μειωτήρα.
- 2) Μείωση της ακρίβειας λόγω του μειωτήρα.
- 3) Υπερθέρμανσης ή και καταστροφή σε εκτενή υπερφόρτιση.
- 4) Χρήση μηχανισμών φρένων για το κλείδωμα του ρομπότ σε μία συγκεκριμένη θέση [20] [21] [22].

### 1.11 Αισθητήρες Βιομηχανικών Ρομπότ

Το βασικότερο αισθητήριο ενός ρομπότ είναι το encoder. Το encoder είναι ένα ηλεκτρομηχανικό σύστημα που μετατρέπει τη γωνιακή ή πρισματική θέση, τη ταχύτητα ή την επιτάχυνση ενός ενεργοποιητή σε αναλογικό ή ψηφιακό σήμα.

Ο σκοπός του encoder είναι να διαβάσει τη θέση της άρθρωσης στην οποία είναι τοποθετημένο, να στείλει αυτή τη πληροφορία μαζί με τα υπόλοιπα encoder που βρίσκονται τοποθετημένα σε κάθε άρθρωση που θέλουμε να γνωρίζουμε τη θέση τους στον κεντρικό controller του ρομπότ, έτσι ώστε ο controller να προβεί στον υπολογισμό της θέσης, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης του ρομπότ για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Με λίγα λόγια το encoder λειτουργεί ως το κεντρικό αισθητήριο, που αναλαμβάνει το ρόλο του σήματος ανάδρασης.



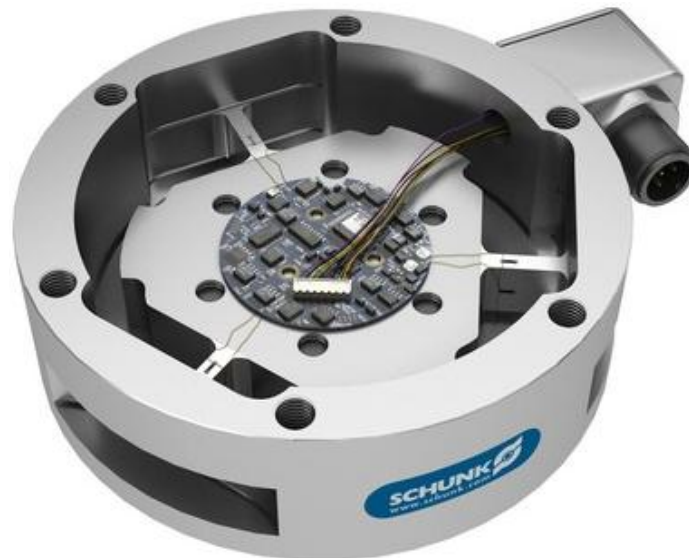
Εικόνα 1.20: Optical Encoder [23]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Πέρα από τα encoder τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για την σωστή λειτουργία ενός ρομπότ, για διαφορετικού τύπου διεργασίες υπάρχουν και οι ανάλογοι αισθητήρες, οι οποίοι παρέχουν στο ρομπότ την αναγκαία αναλογική ή ψηφιακή πληροφορία που του είναι απαραίτητη για την σωστή εκτέλεση της διεργασίας.

Το πρώτο είδος τέτοιων αισθητήρων είναι οι αισθητήρες δύναμης, οι οποίοι παρέχουν στο ρομπότ την αίσθηση της αφής. Κάτι τέτοιο υλοποιείτε χρησιμοποιώντας μεταβλητές ηλεκτρικές αντιστάσεις, καθώς με την αλλαγή της πίεσης που ασκεί το ρομπότ σε ένα άλλο αντικείμενο μεταβάλλεται και η ηλεκτρική αντίσταση.

Οι ηλεκτρικές αυτές μεταβλητές αντιστάσεις λέγονται strain gauge. Τα strain gauge βρίσκονται πάνω σε μία επιφάνεια η οποία συνήθως είναι μεταλλική, και καθώς μεταβάλετε η μηχανική πίεση που της ασκείτε από εξωτερικές δυνάμεις, αρχίζει και παραμορφώνεται, μεταβάλλοντας έτσι το strain gauge, άρα και τη τιμή της αντίστασης [24] [25].

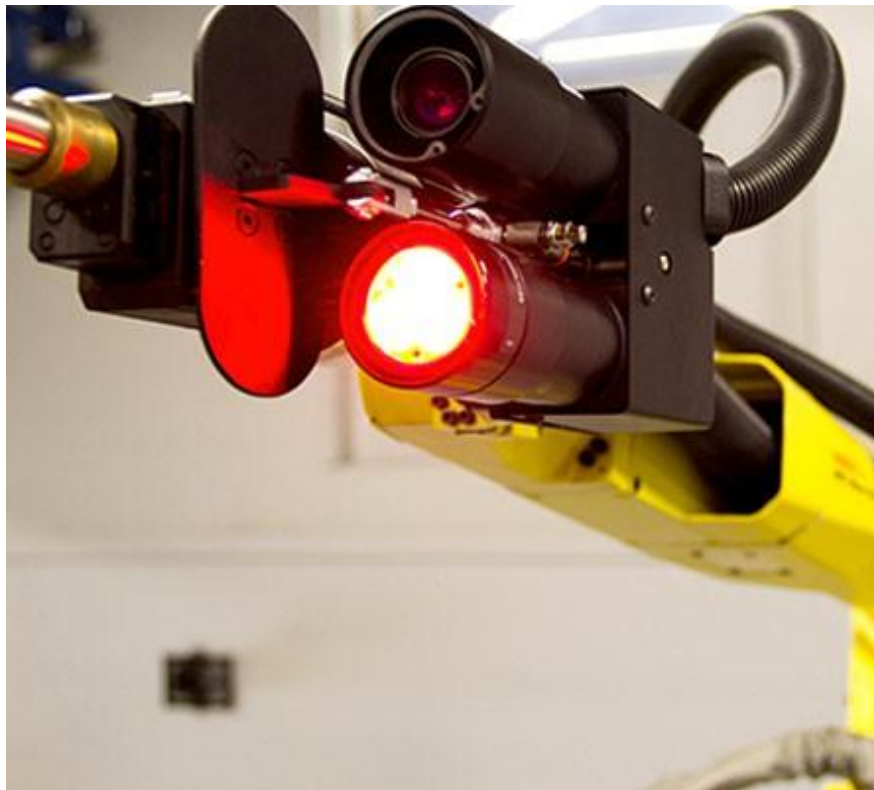


Εικόνα 1.21: Robot Force Sensor [26]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

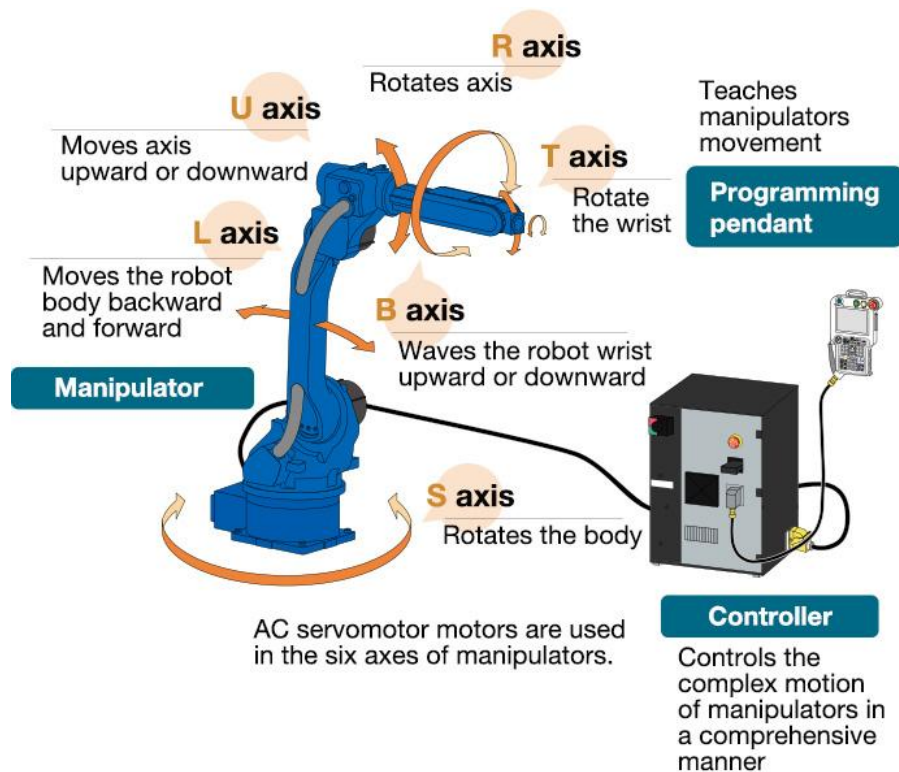
Κλείνοντας την ενότητα των αισθητήρων, δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε το κύριο αισθητήριο όργανο της όρασης ενός ρομπότ, την κάμερα. Για να μπορέσει ένα ρομπότ να αντιληφθεί το περιβάλλον γύρω του, χρησιμοποιεί την εικόνα που έχει συλλέξει το αισθητήριο όργανο της κάμερας, και με την επεξεργασία της εικόνας αυτής, το ρομπότ είναι ικανό να αντιληφθεί το περιβάλλον, αλλά και τα αντικείμενα που το ενδιαφέρουν.

Εφαρμόζοντας την κατάλληλη για κάθε εφαρμογή επεξεργασία εικόνας, στις εικόνες που έχει τραβήξει η κάμερα του ρομπότ, το ρομπότ μπορεί πλέον να λάβει την απαραίτητη πληροφορία, όσο αναφορά τη θέση και τον προσανατολισμό των αντικειμένων που θέλουμε το ρομπότ να αλληλοεπιδράσει.



Εικόνα 1.22: Robot Camera Sensor [27]

## 1.12 Δομή Λειτουργίας Βιομηχανικού Ρομπότ



Εικόνα 1.23: Βασική δομή λειτουργίας ενός βιομηχανικού ρομπότ [28]

Ένα βιομηχανικό ρομποτικό σύστημα πέρα από το κυρίως σώμα του ρομπότ χρειάζεται και ένα εξωτερικό σύστημα επεξεργασίας, το οποίο είναι ικανό να υπολογίζει όλη την απαραίτητη πληροφορία που χρειάζεται ένα βιομηχανικό ρομπότ, ούτως ώστε να μετακινήσει το άκρο στο οποίο είναι τοποθετημένο το εργαλείο τελικής δράσης, από ένα αρχικό σημείο στο χώρο σε ένα τελικό σημείο, με την επιθυμητή από το χρήστη ακρίβεια κίνησης, ταχύτητα, και επιτάχυνση του βιομηχανικού ρομπότ.

Όμως πέρα από τις απαραίτητες εντολές που στέλνει αυτό το σύστημα επεξεργασίας στο βιομηχανικό ρομπότ για την σωστή κίνησή του, αναλαμβάνει επίσης και την απαραίτητη τροφοδοσία όλων των ηλεκτρολογικών και ηλεκτρονικών υποσυστημάτων του ρομπότ. Ένα τέτοιο σύστημα ονομάζεται controller.

## **Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής**

Για να καταφέρει όμως ο άνθρωπος να προγραμματίσει το βιομηχανικό ρομπότ έτσι ώστε να εκτελέσει μια επιθυμητή διεργασία, κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη μιας συσκευής με την οποία ο χειριστής του ρομπότ θα επικοινωνεί μαζί του σε μια γλώσσα υψηλού επιπέδου, ούτως ώστε να το προγραμματίσει, και στη συνέχεια το ρομπότ να εκτελέσει την ανάλογη διεργασία. Μια τέτοια συσκευή ονομάζεται Teach Pad.

Ένα σύγχρονο ρομποτικό σύστημα λειτουργεί ως εξής:

- 1) Ο άνθρωπος-χειριστής προγραμματίζει με τη βοήθεια των εντολών του Teach Pad, την επιθυμητή διεργασία που θέλει να εκτελέσει το βιομηχανικό ρομπότ.
- 2) Ο Controller δέχεται τις εντολές που του έχει εισάγει ο άνθρωπος-χειριστής, υλοποιεί τους κατάλληλους υπολογισμούς για την εκτέλεση της διεργασίας που έχει ορίσει ο άνθρωπος-χειριστής, και τέλος αποστέλλει σε γλώσσα μηχανής τις κατάλληλες εντολές στο βιομηχανικό ρομπότ.
- 3) Τέλος αφού ο controller έχει στείλει τις εντολές που χρειάζεται το βιομηχανικό ρομπότ για την εκτέλεση της επιθυμητής διεργασίας, το ρομπότ αναλαμβάνει την εκτέλεση της.

### **1.13 Δομή Λειτουργίας Controller Βιομηχανικού Ρομπότ**

Όπως αναφέρθηκε και στη προηγούμενη ενότητα, ο κύριος σκοπός του controller είναι να λειτουργεί ως το κύριο υπολογιστικό σύστημα ενός βιομηχανικού ρομπότ, αναλαμβάνοντας να εκτελεί τις εξής παρακρατώ βασικές λειτουργίες:

- 1) Επικοινωνία με το Teach Pad του ρομπότ, και μετάφραση των εντολών.
- 2) Τροφοδοσία όλων των ηλεκτρολογικών και ηλεκτρονικών υποσυστημάτων του ρομπότ.
- 3) Υπολογισμός της επιθυμητής διεργασίας.
- 4) Αποστολή εντολών στο βιομηχανικό ρομπότ, για την εκτέλεση της διεργασίας.
- 5) Αυτόματος έλεγχος και διόρθωση της διεργασίας.
- 6) Συνεργασία με την υπόλοιπη γραμμή παραγωγής, μέσω επικοινωνίας με PLC.

## 1.14 Δομή Λειτουργίας Teach Pad Βιομηχανικού Ρομπότ

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα για να εκτελέσει το βιομηχανικό ρομπότ μια οποιαδήποτε διεργασία, χρειάζεται πρώτα ο άνθρωπος-χειριστής να προγραμματίσει κατάλληλα το ρομπότ μέσω των ανάλογων εντολών του Teach Pad, το οποίο είναι συνδεδεμένο με τον controller.

Οι εντολές που παρέχονται για τον προγραμματισμό του βιομηχανικού ρομπότ μέσω του Teach Pad είναι αρκετά απλές και πάρα πολύ εύκολες για να τις κατανοήσει ο άνθρωπος-χειριστής, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη εξειδικευμένης γνώσης προγραμματισμού γλώσσας μηχανής.

Η επιλογή των εντολών πραγματοποιείται μέσω κουμπιών, είτε μέσω της οθόνης αφής του Teach Pad, προγραμματίζοντας την επιθυμητή κίνηση του ρομπότ μετακινώντας κάθε άρθρωση του βιομηχανικού ρομπότ ξεχωριστά, είτε μετακινώντας το ρομπότ με βάση τις Χ Υ Ζ καρτεσιανές μεταβλητές.

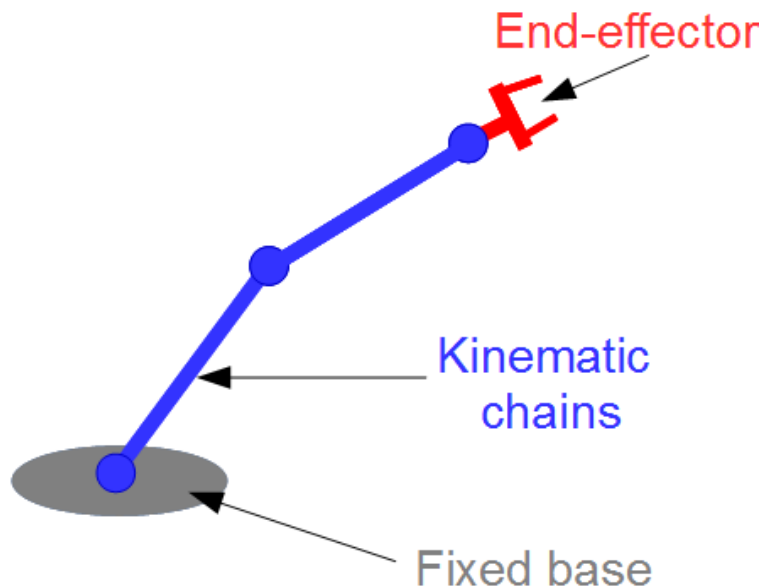
Τέλος πραγματοποιώντας την αποθήκευση των σημείων στο χώρο εργασίας του ρομπότ, που ο άνθρωπος-χειριστής θέλει το βιομηχανικό ρομπότ να προσεγγίσει κατά τη λειτουργία του, και επιλέγοντας την ταχύτητα εκτέλεσης της διεργασίας, καθώς και το είδος της μετακίνησης του ρομπότ από σημείο σε σημείο, τελειώνει η διαδικασία εκμάθησης του [29].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Εισαγωγή στα Delta Robots

### 2.1 Ρομπότ Ανοιχτής Κινηματικής Αλυσίδας

Η πλειοψηφία των συσκευών που χρησιμοποιούνται για τη μετακίνηση και τη τοποθέτηση ενός στοιχείου στο χώρο, και τα οποία μας είναι γνωστά, όπως για παράδειγμα τα βιομηχανικά ρομπότ, περιλαμβάνουν ένα μέλος φορέα ο οποίος υποστηρίζει έναν καρπό, και έχουν τρεις άξονες που είναι γνωστοί ως οι κύριοι άξονες που προορίζονται για τον ορισμό τριών βαθμών ελευθερίας. Οι άξονες αυτοί μπορεί να είναι περιστροφικοί, ή και πρισματικοί, έτσι ώστε να τοποθετήσουν το καρπό στο χώρο. Ο προσανατολισμός του εν λόγω καρπού με τη σειρά του ελέγχεται από έναν έως τρεις άξονες, οι οποίοι είναι γνωστοί και ως δευτερεύοντες άξονες, σύμφωνα με έναν έως τρεις συμπληρωματικούς βαθμούς ελευθερίας που είναι απαραίτητοι για τις περιστροφές.

Σε αυτές τις συσκευές, η διαμόρφωση του μέλους φορέα ο οποίος μπορεί να είναι για παράδειγμα καρτεσιανού τύπου που έχει πρισματικές αρθρώσεις, ή τύπου SCARA που έχει περιστροφικές αρθρώσεις, ο έλεγχος των βαθμών ελευθερίας πραγματοποιείται σε σειρά. Ο πρώτος άξονας χρησιμοποιείται ως αναφορά για την κίνηση του δεύτερου άξονα, ο δεύτερος χρησιμεύει ως αναφορά για την κίνηση του τρίτου άξονα, που με τη σειρά του χρησιμεύει ως αναφορά για τους βαθμούς ελευθερίας που καθορίζουν τον προσανατολισμό του καρπού [30].



Εικόνα 2.1: Ανοιχτής κινηματικής αλυσίδας μορφολογία βιομηχανικού ρομπότ [30]

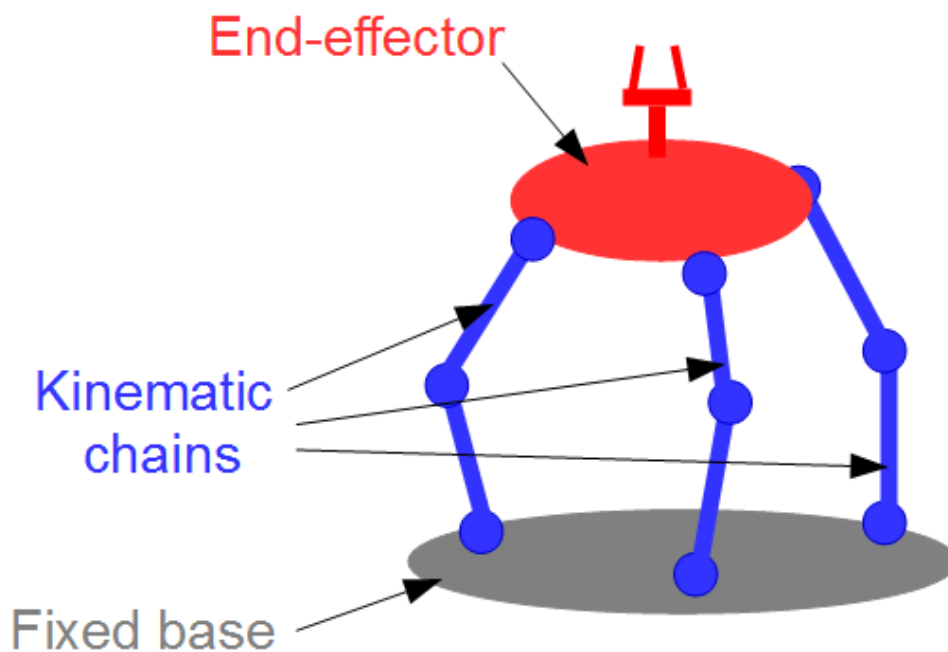


## 2.2 Ρομπότ Κλειστής Κινηματικής Αλυσίδας

Το κύριο χαρακτηριστικό ενός ρομπότ κλειστής κινηματικής αλυσίδας είναι ότι το τελικό εργαλείο δράσης συνδέεται με τη κεντρική βάση του ρομπότ με παραπάνω από μία κινηματική αλυσίδα. Ένα τέτοιο ρομπότ θα πρέπει να αποτελείται από τουλάχιστον δύο βραχίονες που ενώνουν τη βάση με το τελικό στοιχείο δράσης.

Επίσης αποτελούνται από σχετικά πολλές αρθρώσεις, ενώ συνήθως το μεγαλύτερο πλήθος των αρθρώσεων τους δεν έχουν κάποιο ενσωματωμένο ενεργοποιητή, αλλά παραμένουν παθητικές. Ο γενικός όρος που χαρακτηρίζει ένα τέτοιο ρομπότ, είναι η παρομοίωση του ως ένας μηχανισμός όπου η κινηματική του αλυσίδα είναι τύπου κλειστού βρόγχου.

Τα δύο βασικότερα είδη ρομπότ κλειστής κινηματικής αλυσίδας είναι η πλατφόρμα Stewart, η οποία είναι έξι βαθμών ελευθερίας, επιτρέποντας την μετατόπιση και την περιστροφή του τελικού στοιχείου δράσης στους τρεις βασικούς άξονες  $x, y$  και  $z$ , και το Delta Robot το οποίο έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας, επιτρέποντας μόνο την μετατόπιση του τελικού στοιχείου δράσης.



Εικόνα 2.2: Μορφολογία βιομηχανικού ρομπότ κλειστής κινηματικής αλυσίδας [31]

## 2.3 Τα Πλεονεκτήματα των Ρομπότ Κλειστής Κινηματικής Αλυσίδας

Η διαμόρφωση ενός ρομπότ σε σειρά καθιστά αναγκαία τη θέση των μοτέρ οδήγησης στο επίπεδο κάθε άξονα, ή απαιτεί μια βαριά και αρκετά περίπλοκη διαμόρφωση για τη μετάδοση της κίνησης προς τους άξονες, και κατά συνέπεια ακόμη και στην περίπτωση της κίνησης ενός μικρού φορτίου, μεγάλες μάζες πρέπει να τεθούν σε κίνηση.

Από την άλλη πλευρά η πλατφόρμα Stewart που έχει διαμόρφωση παρόμοια με εκείνη ενός προσομοιωτή πτήσης, έχει έξι παράλληλους άξονες εργασίας. Σε αυτή την περίπτωση, οι κινητήρες μπορεί να είναι σταθεροί, γεγονός που περιορίζει αρκετά τις μάζες που τίθενται σε κίνηση. Αυτό το είδος της συσκευής ωστόσο, επιτρέπει μόνο έναν πολύ περιορισμένο χώρο εργασίας που μπορεί να επιτευχθεί. Σε αντίθεση, ένα ανοιχτής κινηματικής αλυσίδας βιομηχανικό ρομπότ, δεν είναι επαρκώς προσαρμοσμένο για τη μεταφορά ελαφριών κομματιών σε πολύ υψηλές ταχύτητες [31].

## 2.4 Ιστορική Αναδρομή του Delta Robot

Ένα ρομπότ τύπου Delta είναι ένα είδος κλειστής κινηματικής αλυσίδας ρομπότ, έχοντας δημοφιλή χρήση σε διεργασίες pick and place, καθώς μπορούν να είναι αρκετά γρήγορα, εκτελώντας έως και 300 κινήσεις ανά λεπτό.

Το Delta ρομπότ επινοήθηκε στις αρχές του 1980 από μια ερευνητική ομάδα με επικεφαλής τον καθηγητή Reymond Clavel στο École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL, Ελβετία). Ο σκοπός αυτού του νέου τύπου ρομπότ ήταν να χειριστούν ελαφριά και μικρά αντικείμενα σε μια πολύ υψηλή ταχύτητα, μια βιομηχανική ανάγκη εκείνης της εποχής. Το 1987 η ελβετική εταιρεία Demarex αγόρασε μια άδεια χρήσης για το Delta ρομπότ, και ξεκίνησε την παραγωγή των Delta Robot για τη βιομηχανία συσκευασίας. Το 1991 ο Reymond Clavel παρουσίασε τη διδακτορική του διατριβή «Σχεδιασμός ενός γρήγορου παράλληλου ρομπότ 4 βαθμών ελευθερίας» και έλαβε το χρυσό βραβείο ρομποτικής το 1999 για το έργο του και την ανάπτυξη του Delta Robot.

Επίσης το 1999 η ABB Flexible Automation άρχισε να πουλά το Delta Robot της, το FlexPicker, καθώς μέχρι το τέλος του 1999, Delta Robot πωλήθηκαν επίσης και από τη Sigpack Systems. Το 2009, η FANUC κυκλοφόρησε την τελευταία έκδοση του Delta Robot, το FANUC M-1iA Robot, και θα κυκλοφορήσει αργότερα παραλλαγές αυτού του Delta Robot για βαρύτερα ωφέλιμα φορτία. Συγκεκριμένα κυκλοφόρησε το M-3iA το 2010 για τα βαρύτερα ωφέλιμα φορτία, και πιο πρόσφατα το FANUC M-2iA Robot για μεσαία ωφέλιμα φορτία το 2012 [32].



Εικόνα 2.3: Το πρώτο Delta Robot [32]

## 2.5 Ο Ορισμός του Delta Robot

Το Delta Robot είναι μια συσκευή, η οποία χρησιμοποιείται για τη μετακίνηση και την τοποθέτηση ενός στοιχείου στο χώρο. Συγκεκριμένα είναι ένα βιομηχανικό ρομπότ με πλεονεκτική διαμόρφωση, η οποία επιτρέπει τον έλεγχο των τριών βασικών βαθμών ελευθερίας από ενεργοποιητές τοποθετημένους σε μία σταθερή βάση, με παράλληλη διατήρηση της παραλληλίας του κινούμενου μέλους σε σχέση με τη σταθερή βάση, και το οποίο είναι ειδικά προσαρμοσμένο για τη μεταφορά ελαφριών κομματιών σε πολύ υψηλές ταχύτητες.

Η κύρια μορφολογία των Delta Robots που έχει επικρατήσει στις περισσότερες βιομηχανικές εφαρμογές, είναι εκείνη που οι αρθρώσεις οι οποίες μεταδίδουν τη κίνηση στους υπόλοιπους συνδέσμους του Delta Robot είναι περιστροφικού τύπου.

## 2.6 Τα Πλεονεκτήματα του Delta Robot

Τα πλεονεκτήματα του Delta Robot είναι πολλαπλά. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα είναι ότι ο χώρος εργασίας που μπορεί να επιτευχθεί είναι αρκετά μεγάλος, καθώς επίσης οι μάζες που είναι σε κίνηση μειώνονται στο ελάχιστο.

Αυτή η διαμόρφωση επιτρέπει τη μετακίνηση τεμαχίων των οποίων η συνολική μάζα είναι της ίδιας τάξης με την αδράνεια των κινητών μερών της συσκευής, καθώς η ταχύτητα λειτουργίας του μπορεί να είναι αρκετά υψηλή.

Η παρουσία των τριών κινούμενων τμημάτων των ενεργοποιητών που δρουν παράλληλα, αυξάνει την ακαμψία του μηχανισμού, η οποία σε ίδιο ρυθμό λειτουργίας επιτρέπει την καλύτερη επαναληψιμότητα θέσης, από αυτήν που λαμβάνεται στην πλειοψηφία των γνωστών βιομηχανικών ρομπότ, ακόμη και σε πολύ υψηλές ταχύτητες.

## 2.7 Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά των Delta Robots

Ένα Delta Robot περιλαμβάνει ένα μέλος βάσεως και ένα κινητό μέλος. Το μέλος βάσεως περιλαμβάνει τρεις περιστροφικούς ενεργοποιητές, όπου ο καθένας περιλαμβάνει ένα σταθερό τμήμα ενιαίο με το μέλος βάσεως, οι άξονες των οποίων είναι συνεπίπεδοι. Οι βραχίονες ελέγχου τοποθετούνται υπό τη μορφή ενός άκαμπτου συγκροτήματος σε ένα άκρο, και αυτά αντίστοιχα σε κάθε έναν από τους άξονες περιστροφής, έτσι ώστε ο διαμήκης άξονας του κάθε βραχίονα να είναι κάθετος προς τον αντίστοιχο άξονα περιστροφής του. Το άλλο άκρο καθενός από τους βραχίονες ελέγχου είναι ενιαίο με δύο ράβδους σύνδεσης, μέσω δύο σφαιρικών αρθρώσεων. Κάθε μία από τις δύο ομάδες σύνδεσης ράβδων συνδέεται επίσης με δύο σφαιρικές αρθρώσεις στο κινητό μέλος, η κίνηση του οποίου μπορεί να ελέγχεται με τη κίνηση των βραχιόνων ελέγχου. Οι ράβδοι παραμένοντας πάντοτε σε παράλληλη μορφή, δημιουργούν ένα παραλληλόγραμμο που κινείται στο χώρο και μπορεί να παραμορφώνεται ως συνάρτηση των αντίστοιχων κινήσεων των βραχιόνων ελέγχου. Το αποτέλεσμα είναι ότι το κινητό μέλος παραμένει πάντα παράλληλο με τη σταθερή βάση, όποιες και αν είναι οι κινήσεις των βραχιόνων ελέγχου. Ένα μέλος εργασίας, όπως για παράδειγμα μία αρπάγη, ή ένα εργαλείο, μπορεί να διατάσσεται επί του κινητού μέλους. Ένας τέταρτος βαθμός ελευθερίας της συσκευής συνίσταται στην περιστροφή του μέλους εργασίας γύρω από έναν άξονα, κάθετος ως προς το κινητό μέλος. Αυτή η περιστροφή ελέγχεται από έναν σταθερό κινητήρα, όπου διατάσσεται επί του μέλους βάσης, καθώς η περιστροφή μεταφέρεται μέσω ενός συστήματος ράβδων, όπως για παράδειγμα ένας τηλεσκοπικός βραχίονας [33].

## 2.8 Κατασκευαστικές Τροποποιήσεις των Delta Robots

Σύμφωνα με μία άλλη υλοποίηση του Delta Robot, οι βραχίονες ελέγχου οι οποίοι στρέφονται γύρω από τους κινητήριους άξονες, μπορούν να αντικατασταθούν από μέλη, τα οποία κινούνται πάνω σε ευθείς οδηγούς. Η συγκεκριμένη μορφολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές, όπως σε οποιοδήποτε πεδίο που απαιτεί ακριβή και γρήγορη συναρμολόγηση, το χειρισμό και τη συσκευασία αντικειμένων, το προσδιορισμό της θέσης και του προσανατολισμού, καθώς επίσης και σε εφαρμογές όπως η μέτρηση της μετατόπισης, ή ακόμα και για τον τρισδιάστατο έλεγχο τεμαχίων. Το βασικότερο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μορφολογίας είναι ο αρκετά μεγάλος χώρος εργασίας, καθώς τέτοιου είδους Delta Robot χρησιμοποιούνται σε 3D Printing εφαρμογές.



Εικόνα 2.4: 3D Printing Delta Robot [34]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Μία άλλη μορφολογία του Delta Robot από την εταιρία Fanuc, χρησιμοποιεί τη βασική μορφολογία του Delta Robot, με τη μόνη διαφορά ότι στο τελικό στοιχείο δράσης βρίσκεται τοποθετημένη μία κινηματική αλυσίδα τριών περιστροφικών αρθρώσεων, οι οποίες προσδίδουν τη δυνατότητα περιστροφής αντικειμένων στους τρεις βασικούς άξονες.



Εικόνα 2.5: Fanuc 6DOF Delta Robot [27]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Τέλος, έχει αναπτυχθεί από την εταιρία Adept ένα Delta Robot, το οποίο έχει 4 ζευγάρια ράβδων τα οποία συνδέονται στο τελικό στοιχείο δράσης, καθώς δεν χρειάζεται να διαθέτει επιπλέον βραχίονα για τη περιστροφή αντικειμένων κατά τον z άξονα.



Εικόνα 2.6: Adept 4DOF Delta Robot [35]

## 2.9 Εφαρμογές Delta Robot

Η κυριότερη εφαρμογή που τα Delta Robots χρησιμοποιούνται κατά κόρον στη βιομηχανία, είναι η διεργασία pick and place. Λόγω της μορφολογίας τους αποτελούν τη βέλτιστη λύση για τη μετακίνηση μικρών και ελαφρών αντικειμένων από ένα σημείο σε ένα άλλο, τα οποία βρίσκονται μέσα στο χώρο εργασίας τους.

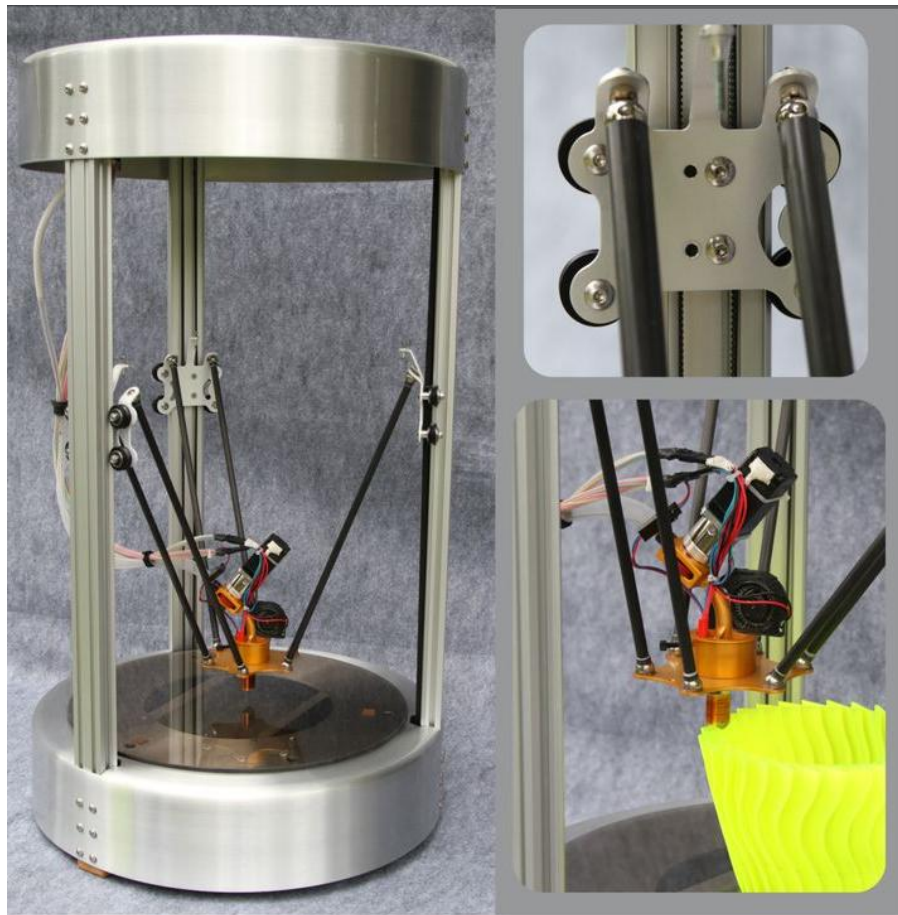


Εικόνα 2.7: Pick and Place Delta Robot [36]



## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

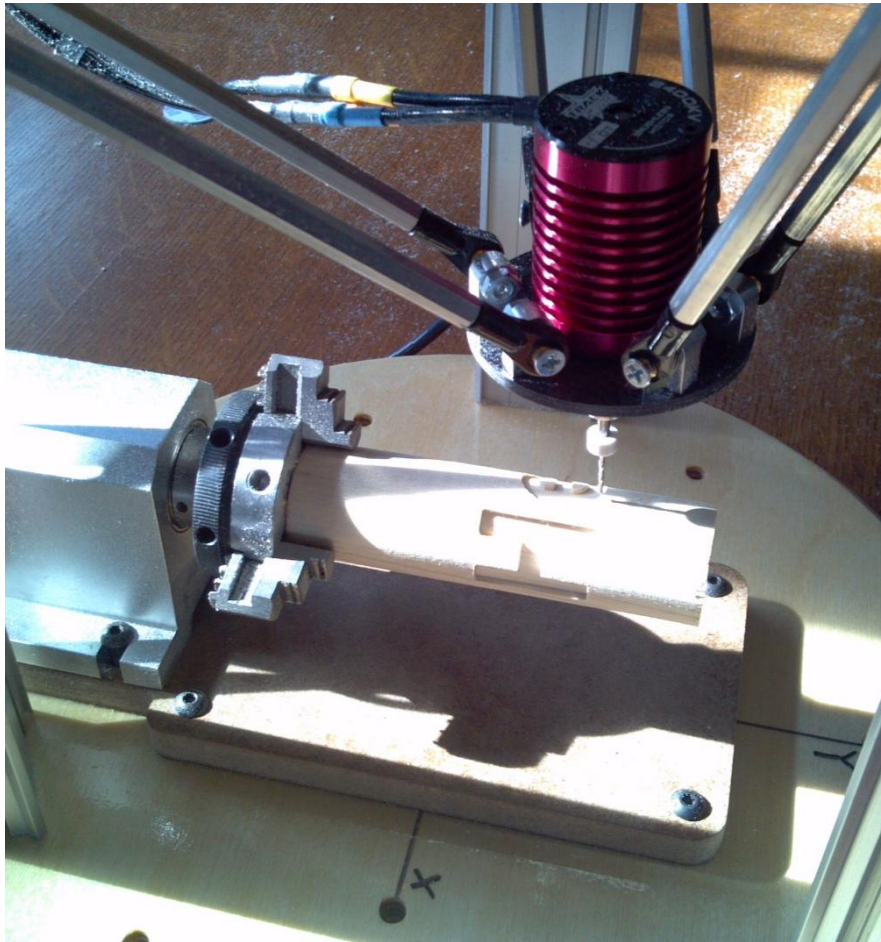
Η δεύτερη πιο γνωστή εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιούνται τα Delta Robots είναι το 3D printing. Εξαιτίας της μορφολογίας των Delta Robots με γραμμικούς ενεργοποιητές, κρίνονται κατάλληλοι για την 3D εκτύπωση σχετικά μεγάλων κομματιών, που οι συμβατικοί καρτεσιανοί 3D εκτυπωτές είναι αδύνατο να εκτυπώσουν.



Εικόνα 2.8: 3D Printing Delta Robot [34]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Επίσης τα Delta Robots χρησιμοποιούνται και σε εφαρμογές στις οποίες λειτουργούν ως εργαλειομηχανές CNC. Χρησιμοποιώντας ένα spindle το οποίο ενσωματώνετε στο τελικό στοιχείο δράσης, καθώς και με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων στο χώρο εργασίας του, μπορεί να εκτελέσει αρκετά πολύπλοκες διεργασίες αφαίρεσης υλικού.



Εικόνα 2.9: CNC Delta Robot [36]

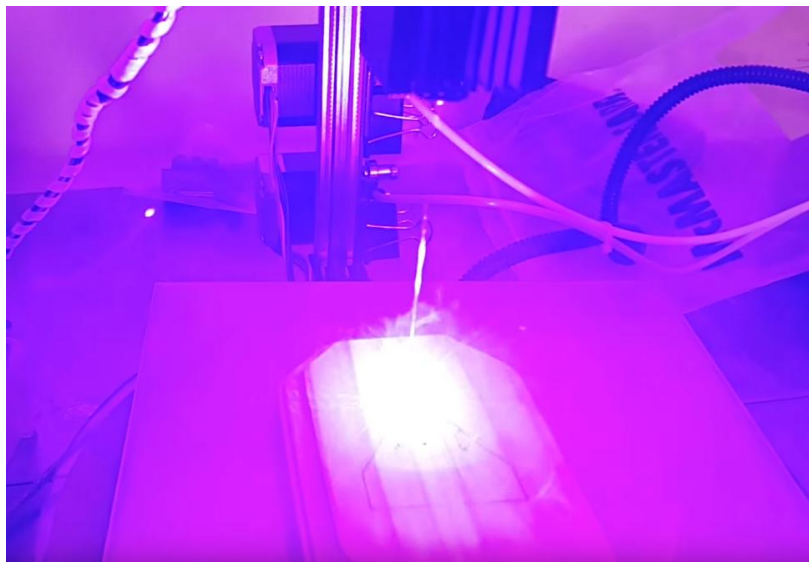
## 2.10 Εφαρμογές Delta Robot με τη χρήση LASER και PLASMA

Όπως προαναφέραμε, τα Delta Robots μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλειομηχανές CNC, έτσι με τη χρήση ενός Plasma Cutter το οποίο ενσωματώνετε στο τελικό στοιχείο δράσης, το Delta Robot μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε διεργασίες κοπής υλικών.



Εικόνα 2.10: Plasma Cutter Delta Robot [36]

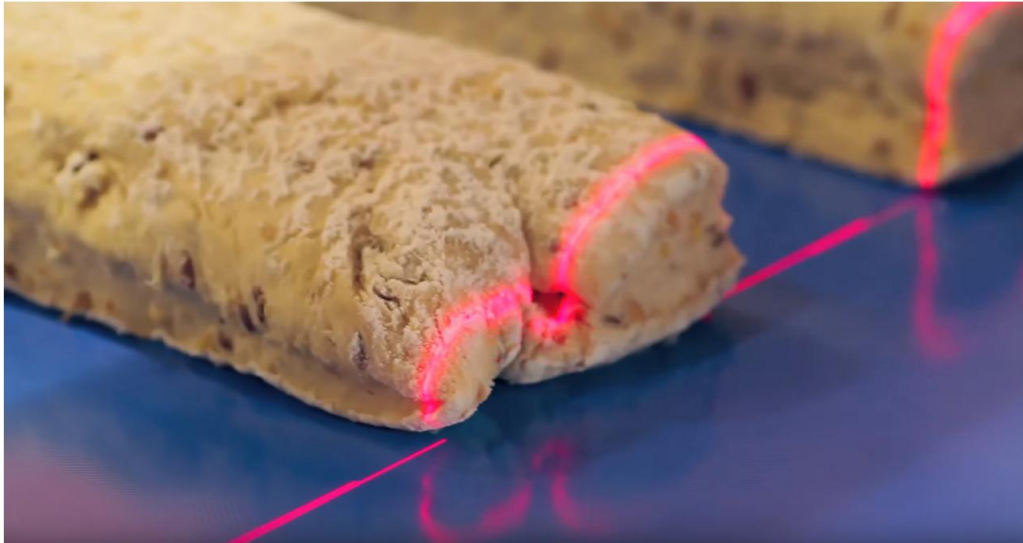
Εκτός από Plasma, χρησιμοποιώντας Laser ως κύριο εργαλείο κατεργασίας τοποθετημένο στο τελικό στοιχείο δράσης του Delta Robot, το Delta Robot μπορεί να εκτελέσει διεργασίες κοπής, αλλά και χάραξης υλικών.



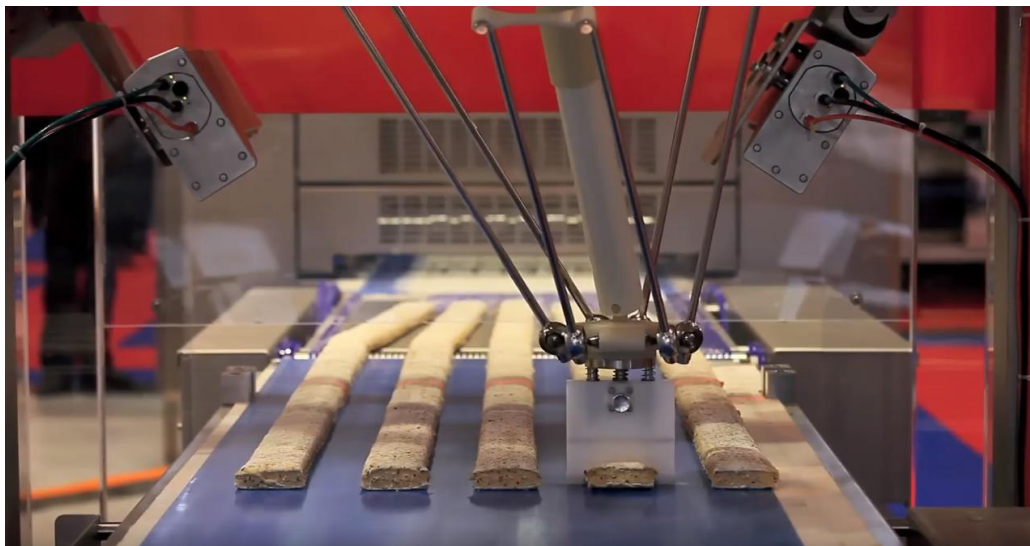
Εικόνα 2.11: Laser Engraving Delta Robot [36]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Επίσης τα Delta Robots με τη χρήση ενσωματωμένων Lasers στη γραμμή παραγωγής, μπορούν να εκτελέσουν διεργασίες οι οποίες αφορούν ακριβές μετρήσεις, και με τη χρήση των κατάλληλων εργαλείων να εκτελέσουν την επιθυμητή διεργασία.



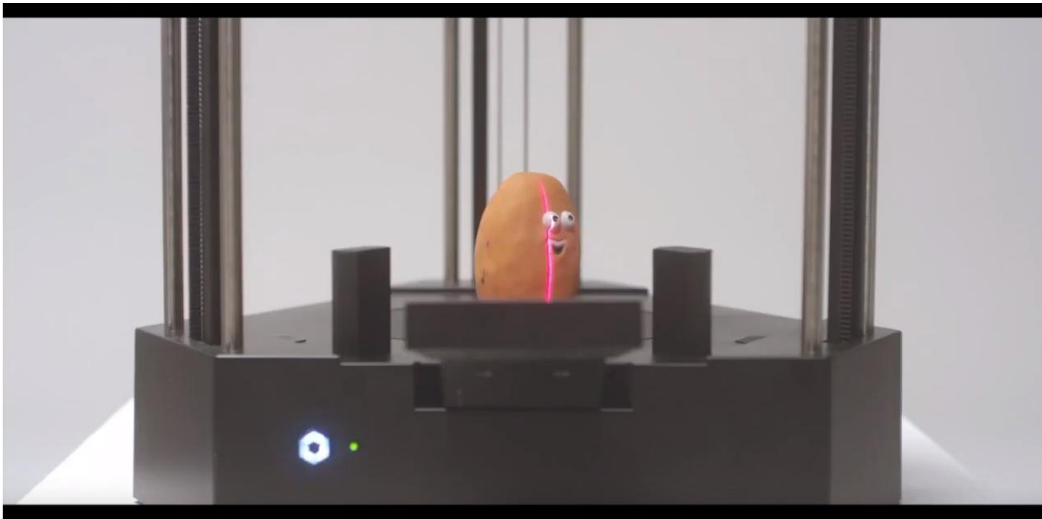
Εικόνα 2.12: Laser Measurement [36]



Εικόνα 2.13: Ολοκληρωμένη Γραμμή παραγωγής (Delta Robot - Laser Measurement) [36]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Τέλος, με τη χρήση 3D Laser Scanner το οποίο είναι ενσωματωμένο στη βάση του Delta Robot, είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί η σάρωση του αντικειμένου που θέλουμε να ψηφιοποιήσουμε, και στη συνέχεια με τη χρήση της κατάλληλης διεργασίας από τις παραπάνω που αναλύσαμε, να δημιουργήσουμε το αντίγραφο του αντικειμένου.



Εικόνα 2.14: 3D Scanning [36]



Εικόνα 2.15: 3D CAD Digital Model [36]

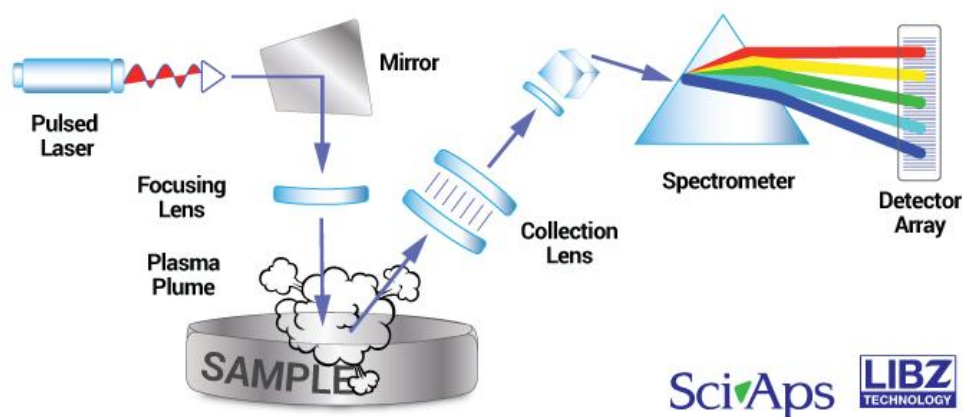
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε εξ αρχής η δυνατότητα χρήσης του Delta Robot ειδικά για επιφανειακές κατεργασίες υλικών όπως είναι η χάραξη-μαρκάρισμα, και η κοπή λεπτών μεταλλικών και πλαστικών φύλλων, με τη χρήση κατάλληλης κεφαλής διοδικού laser μέσης ισχύος (μερικών W).

Για την ίδια διεργασία το Delta Robot θα μπορούσε να κινεί επίσης πάνω από το αντικείμενο προς κατεργασία μια οπτική ίνα εξόδου laser, η οποία θα είναι κατάλληλα ενσωματωμένη στο τελικό στοιχείο δράσης του Delta Robot.

Επίσης, ενσωματώνοντας στο άκρο του Delta Robot ένα μικρό παλμικό laser με σύντομη διάρκεια παλμού εξόδου, συνεπώς και μεγάλης στιγμιαίας ισχύος, ένα ρομποτικό σύστημα όπως το Delta Robot της παρούσας εργασίας, θα μπορούσε να χρησιμεύσει στη γρήγορη και ακριβής διαγνωστική μέτρηση τοπικής ανάλυσης της σύστασης υλικού μικρών και ευθραύστων τεμαχίων, χρησιμοποιώντας τεχνικές LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy), ή και τεχνικές LiF (Laser Induced Fluorescence).

Το τελικό ρομποτικό σύστημα που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε μπορεί πράγματι με μερικές μικρές μετατροπές της κινούμενης πλατφόρμας, του τελικού στοιχείου δράσης, άρα και με τους απαραίτητους σχετικούς μηχανικούς προσαρμογείς, να δεχτεί είτε μικρές κεφαλές laser, είτε απολήξεις οπτικών ινών, χρησιμοποιώντας ή όχι φακούς εστίασης δέσμης. Οι ιδέες αυτές όμως τελικά δεν υλοποιήθηκαν για λόγους μη διαθεσιμότητας του σχετικού αναγκαίου εξοπλισμού στο εργαστήριο όπως αρχικά σχεδιάζονταν, καθώς επίσης και για λόγους που αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια.



Εικόνα 2.16: Laser Induced Breakdown Spectroscopy [37]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Σχεδιασμός και Υλοποίηση Συστήματος

### 3.1 Προγράμματα CAD

Στη σύγχρονη βιομηχανική εποχή η ανάπτυξη νέων προϊόντων έχει εξελιχθεί σε τέτοιο βαθμό που επιτρέπει το σχεδιασμό των προϊόντων με τη χρήση 3D φωτορεαλιστικών προγραμμάτων, καθώς και την προσομοίωση τόσο της λειτουργίας των προϊόντων αυτών, αλλά και των διεργασιών παραγωγής τους. Τα συγκεκριμένα προγράμματα έγιναν διαθέσιμα λόγω της ραγδαίας εξέλιξης της υπολογιστικής ισχύος των ηλεκτρονικών υπολογιστών, καθώς η κύρια δυνατότητα τους είναι η παροχή κρίσιμων πληροφοριών κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού που αφορούν το τελικό προϊόν. Με τη χρήση αυτών των προγραμμάτων μειώνεται το κόστος ανάπτυξης νέων και καινοτόμων προϊόντων, άρα και ο χρόνος ανάπτυξης τους, καθώς επίσης αυξάνεται και η κατασκευαστική τους ποιότητα.

Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν ότι το κύριο πλεονέκτημα τους είναι η χρήση των νέων και εξαιρετικά κρίσιμων δυνατοτήτων που έχουν πλέον στα χέρια τους οι σχεδιαστές, καθώς με τα πλεονεκτήματα που παρέχουν, κάθε εταιρία που χρησιμοποιεί τέτοιου είδους προγράμματα υπερτερεί ενάντια στον ανταγωνισμό. Με τη χρήση λοιπόν τέτοιων προγραμμάτων συνειδητοποιούμε ότι η ανάπτυξη των νέων προϊόντων έχει αλλάξει δραματικά τα τελευταία χρόνια, καθώς όσο θα συνεχίζει να εξελίσσεται η τεχνολογία, τόσο θα δημιουργούνται και νέες δυνατότητες.

Τα προγράμματα αυτά με τις ανεπτυγμένες δυνατότητες που παρέχουν δρουν σαν μια αλυσίδα που γεφυρώνει τις βασικές ιδέες των μηχανικών, με όλα τα υπόλοιπα μέλη τα οποία απαρτίζουν την ομάδα που αναπτύσσει το προϊόν, κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων της ανάπτυξής του. Χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα εργαλεία των προγραμμάτων αυτών, οι σχεδιαστές και οι μηχανικοί που ασχολούνται με την ανάπτυξη του προϊόντος έχουν στα χέρια τους πληροφορίες και εργαλεία τα οποία δεν υπήρχαν στο παρελθόν. Τέτοιου είδους πληροφορίες αφορούν τεχνικά, αλλά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός προϊόντος, πριν καν να παραχθεί ένα αντίστοιχο πρωτότυπο, αλλά ακόμα πιο σημαντικό πριν καν να μπει στη γραμμή μαζικής παραγωγής. Αυτές οι πληροφορίες ήταν αδύνατο να υπολογισθούν με μεθόδους που χρησιμοποιούσαν οι μηχανικοί στο παρελθόν για την ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος.

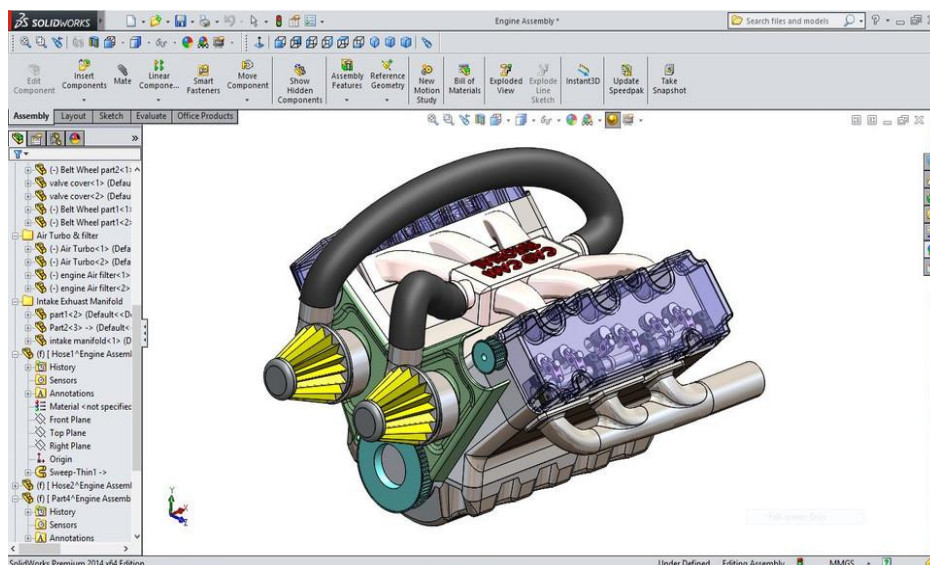
Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα προγράμματα CAD είναι η ευκολία καθώς και η ευελιξία που παρέχουν κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού, και η απaráμιλλη αξιοπιστία και σιγουριά. Οι κύριες δυνατότητες που προσφέρει ένα τέτοιο πρόγραμμα σε μια εταιρία αφορούν το συνολικό κόστος του προϊόντος, αφού είναι το σημαντικότερο στοιχείο για την επιτυχία του

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

στις πωλήσεις, τα τεχνικά αλλά και τα λειτουργικά του χαρακτηριστικά, καθώς επίσης και την συνολική αισθητική του.

Με τη χρήση των προγραμμάτων προσομοίωσης μπορεί ο σχεδιαστής να επηρεάσει κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού τόσο τα τεχνικά αλλά και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του προϊόντος που αναπτύσσει η εταιρία, με βάση τους ελέγχους που πραγματοποιεί το εκάστοτε λογισμικό. Επίσης με βάση τις δυνατότητες που παρέχει κάθε πρόγραμμα CAD, όπως η δημιουργία παραμετρικών γεωμετρικών μοντέλων και η φωτορεαλιστική απεικόνιση, μεταβάλλεται ανάλογα και η συνολική αισθητική του προϊόντος που θέλει ο σχεδιαστής να δημιουργήσει. Τα προγράμματα που κυκλοφορούν στη σύγχρονη εποχή έχουν μειώσει σε αρκετά μεγάλο βαθμό τους περιορισμούς ενός σχεδιαστή, καθώς υπάρχουν αρκετοί παράμετροι ούτως ώστε να δημιουργήσουν το επιθυμητό προϊόν.

Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν ότι σχεδόν το μεγαλύτερο, αν όχι όλο το μέρος της ανάπτυξης και του σχεδιασμού ενός νέου προϊόντος πραγματοποιείται σε ψηφιακή μορφή. Για να βελτιωθεί λοιπόν η διαχείριση καθώς και η οργάνωση των ψηφιακών δεδομένων που αφορούν το προϊόν, χρειάζεται να ενοποιηθεί το σύνολο των προγραμμάτων που αφορούν το σχεδιασμό του προϊόντος, και όλη η πληροφορία να είναι προσβάσιμη από όλα τα μέλη της ομάδας ανάπτυξης του προϊόντος. Για την επίτευξη αυτού του στόχου χρειάζεται τα επιμέρους μέχρι πρότινος προγράμματα να μπορούν να εναλλάσσουν ψηφιακή πληροφορία μεταξύ τους, ή να δημιουργηθούν νέα λογισμικά που να μπορούν να συνδέουν τα είδη υπάρχοντα προγράμματα, μεταφράζοντας την απαραίτητη πληροφορία [38] [39].



Εικόνα 3.1: Περιβάλλον Εργασίας 3D CAD Λογισμικού [40]



## 3.2 Μηχανές CNC



Εικόνα 3.2: CNC [41]

Το 1952 στις Η.Π.Α. κατασκευάστηκε η πρώτη ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή, η οποία ήταν στην ουσία μια συμβατική εργαλειομηχανή τύπου φρέζας, της οποίας οι τρεις βασικοί άξονες καθοδηγούνταν από ηλεκτρικούς κινητήρες. Έτσι με τη βοήθεια της ραγδαίας εξέλιξης των ηλεκτρονικών υπολογιστών, οι ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές αναπτύχθηκαν στο σημείο που είναι σήμερα.

Οι ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές λειτουργούν με τη χρήση τυποποιημένων κωδικοποιημένων εντολών, οι οποίες μεταφράζονται από τη κεντρική μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής, στις ανάλογες κινήσεις που πρέπει να εκτελεστούν από τη μηχανή.

Τα κύρια πλεονεκτήματα που βοήθησαν στην ραγδαία ανάπτυξη των ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών είναι η μείωση του χρόνου για τις εργασίες κατεργασίας, η αυξημένη ακρίβεια που παρέχουν, οι σαφώς λιγότερες μετρήσεις κατά τη διάρκεια της κατεργασίας, καθώς επίσης έχουν τη δυνατότητα να κατεργαστούν πολύπλοκες γεωμετρίες εύκολα και σε πολύ μικρό χρόνο.

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Το σύνολο των ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών χωρίζεται στις NC, CNC, και DNC εργαλειομηχανές, όπου ο όρος NC προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Numerical Control, καθώς οι μηχανές δέχονται πληροφορίες με τις οποίες καθοδηγούνται αυτόνομα για την εκτέλεση των επιθυμητών κατεργασιών.

Οι εργαλειομηχανές CNC (Computer Numerical Control) έχουν έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή ο οποίος είναι υπεύθυνος να καθοδηγήσει την εργαλειομηχανή ούτως ώστε να εκτελέσει σωστά τις επιθυμητές κατεργασίες. Οι κύριες διεργασίες που εκτελεί ο ηλεκτρονικός υπολογιστής της εργαλειομηχανής αφορά τον υπολογισμό των ενδιάμεσων σημείων για τη κίνηση της εργαλειομηχανής, είτε αυτή είναι ευθύγραμμη ή κυκλική τροχιά, τα οποία δεν υπάρχουν στο πρόγραμμα που του έχει εισάγει ο χρήστης. Επίσης αρκετοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές εργαλειομηχανών παρέχουν τη δυνατότητα εισαγωγής εντολών κατευθείαν από τη μηχανή, καθώς μπορεί να χρειαστεί κάποια αλλαγή, ή ακόμα και διόρθωση το πρόγραμμα κατεργασίας. Τέτοιες εργαλειομηχανές ονομάζονται DNC, δηλαδή Direct Numerical Control.

Έτσι, οι περισσότερες σύγχρονες ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές συνδέονται με έναν εξωτερικό κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπου ο χειριστής δημιουργεί το κατάλληλο πρόγραμμα για την εκάστοτε διεργασία με τη χρήση ψηφιακών πληροφοριών, το οποίο στη συνέχεια τροφοδοτείται στην εργαλειομηχανή προς εκτέλεση.

Αυτές οι ψηφιακές πληροφορίες οι οποίες έχουν συνταχθεί, και κωδικοποιηθεί στο πρόγραμμα ψηφιακής καθοδήγησης με την ονομασία NC-program, εμπεριέχουν τη θέση αναφοράς μεταξύ του εργαλείου της εργαλειομηχανής και του ακατέργαστου τεμαχίου στο χώρο εργασίας, καθώς επίσης και αρκετές ακόμα βοηθητικές και απαραίτητες εντολές για την εκτέλεση των εργασιών της εργαλειομηχανής.

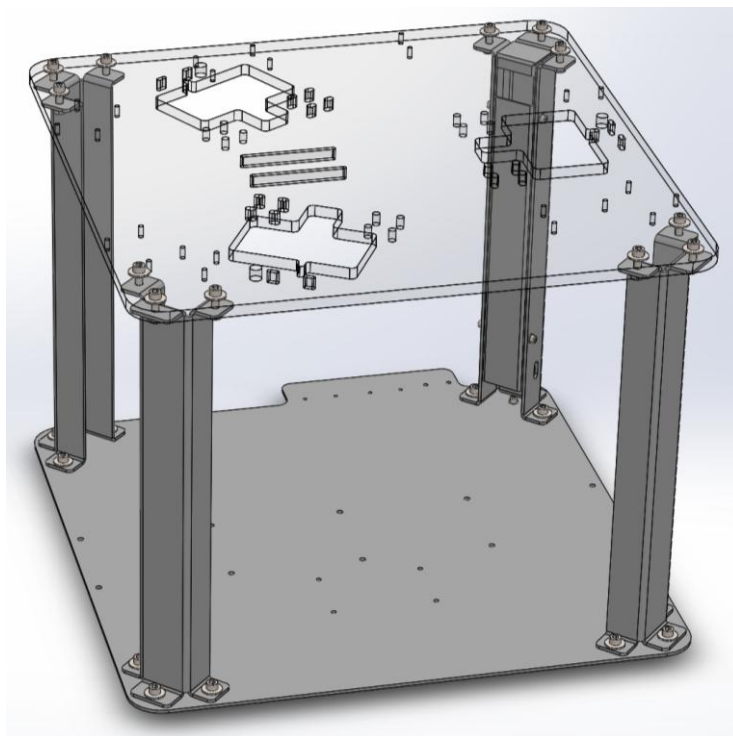
Όταν η σύνταξη του NC-program ολοκληρωθεί, μετέπειτα πραγματοποιείται η μεταφορά του από τον κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή στον υπολογιστή-μονάδα που είναι ενσωματωμένος στην εργαλειομηχανή.

Τέλος, η μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής μεταφράζει το πρόγραμμα που έχει συντάξει ο χειριστής στις απαραίτητες κινήσεις των αξόνων και του κοπτικού εργαλείου της εργαλειομηχανής, ούτως ώστε να υλοποιηθεί η επιθυμητή κατεργασία [41] [42].

### 3.3 Σχεδιασμός και Μηχανική Ανάλυση Συστήματος

Η μηχανολογική σχεδίαση όλων των κομματιών του συστήματος έγινε με τη χρήση 3D λογισμικού. Χρησιμοποιώντας ένα τέτοιο λογισμικό παρέχεται η δυνατότητα εύκολης και γρήγορης τροποποίησης του 3D σχεδίου κάθε κομματιού σε οποιαδήποτε φάση του σχεδιασμού. Μια άλλη πάρα πολύ χρήσιμη δυνατότητα, είναι η αυτόματη ενημέρωση των αλλαγών που μπορεί να γίνουν κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού, σε κάθε κομμάτι του συνολικού σχεδίου, εξοικονομώντας έτσι χρόνο, αλλά επιτυγχάνεται επίσης και η αποφυγή τυχόν σφαλμάτων από ανθρώπινη παράβλεψη. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία του σχεδιασμού όλων των κομματιών του συστήματος, στη συνέχεια με τη βοήθεια του λογισμικού είναι εφικτή η εξαγωγή ψηφιακών μηχανολογικών κατασκευαστικών σχεδίων, τα οποία μετέπειτα μετατρέπονται είτε σε G-Code για τη κατασκευή των κομματιών από εργαλειομηχανές CNC, όπως για παράδειγμα σε CNC Laser Cutter για τη κοπή λαμαρινών, είτε σε διαστασιολογημένα μηχανολογικά-κατασκευαστικά σχέδια για τη κατασκευή κομματιών από συμβατικές εργαλειομηχανές.

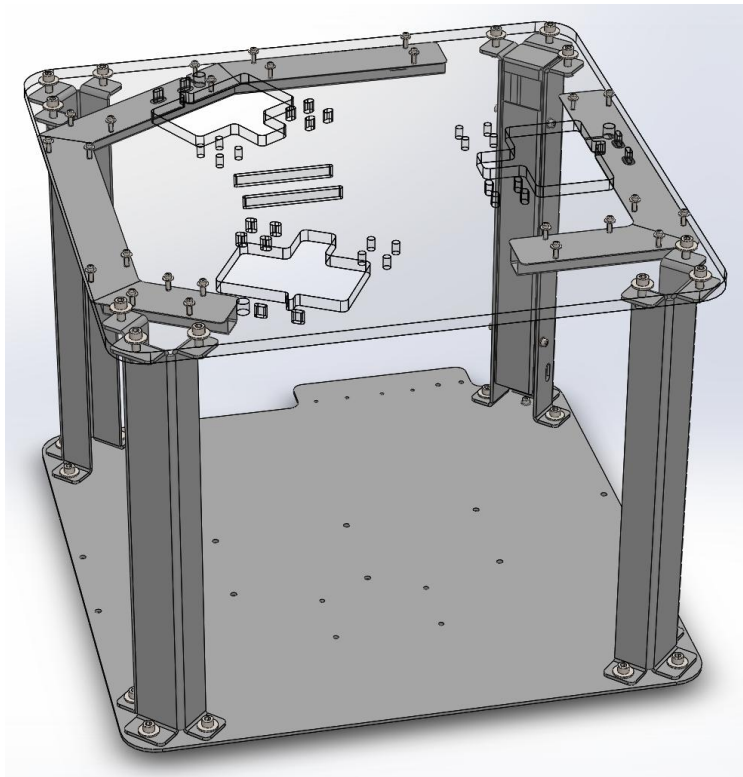
Αρχικά σχεδιάστηκε το βασικό σώμα του συστήματος, το οποίο αποτελείται από τέσσερις κεντρικές κολόνες που συνδέουν την κάτω με την άνω βάση. Και στις δύο βάσεις έχουν σχεδιαστεί οι κατάλληλες οπές για τη συναρμογή των υπόλοιπων υποσυστημάτων.



Εικόνα 3.3: Βασικό σώμα του συστήματος

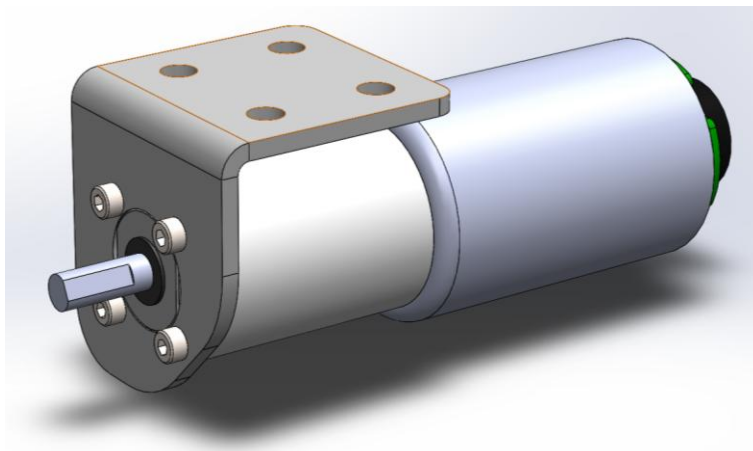
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Για τη διαχείριση των καλωδίων των ενεργοποιητών και των αισθητηρίων, σχεδιάστηκαν κατάλληλα κανάλια καλωδίων που ενσωματώνονται στην άνω βάση του κεντρικού σώματος.



Εικόνα 3.4: Βασικό σώμα του συστήματος με τα κανάλια καλωδίων

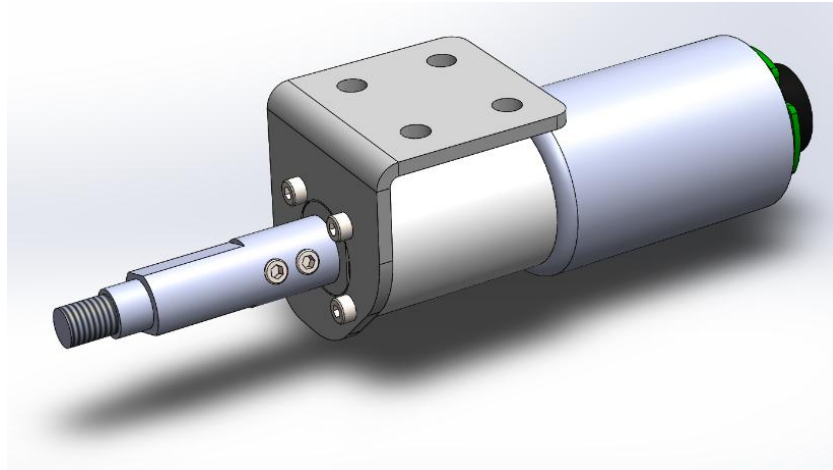
Στη συνέχεια διαστασιολογήθηκαν και σχεδιάστηκαν οι ενεργοποιητές του συστήματος ούτως ώστε να εισαχθούν στο συνολικό 3D μοντέλο, όπου μετέπειτα για τη στήριξή τους σχεδιάστηκαν κατάλληλες γωνιές στήριξης 90 μοιρών.



Εικόνα 3.5: Ενεργοποιητής με τη βάση στήριξης

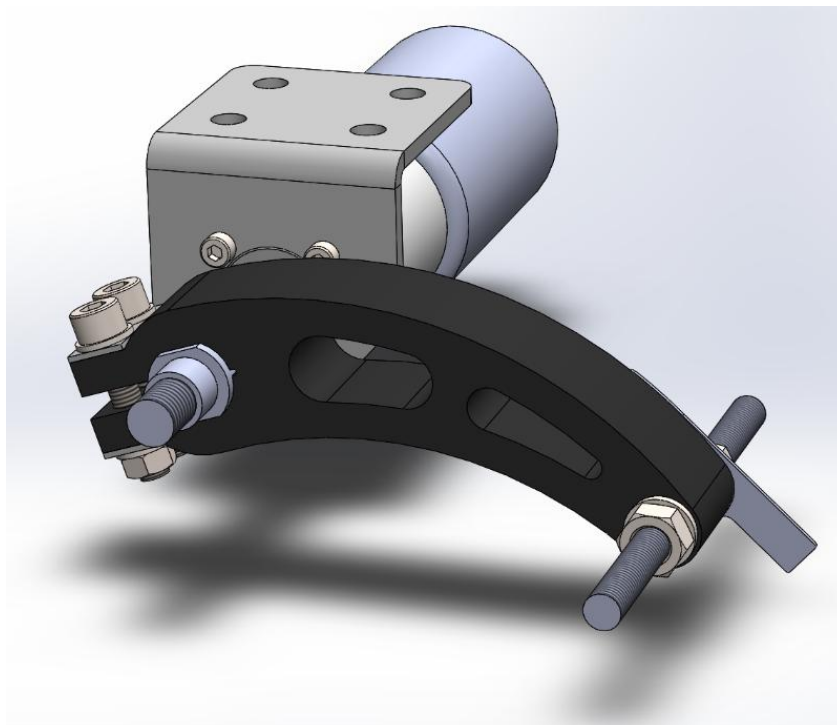
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Για τη μετάδοση κίνησης από τον άξονα του ηλεκτροκινητήρα στον πρώτο σύνδεσμο του Delta Robot, σχεδιάστηκε κατάλληλος άξονας για τη σωστή συναρμογή του με τον άξονα κίνησης, τον πρώτο σύνδεσμο, και το κουζινέτο στήριξης.



Εικόνα 3.6: Ενεργοποιητής με τη βάση στήριξης, και τον άξονα μετάδοσης κίνησης

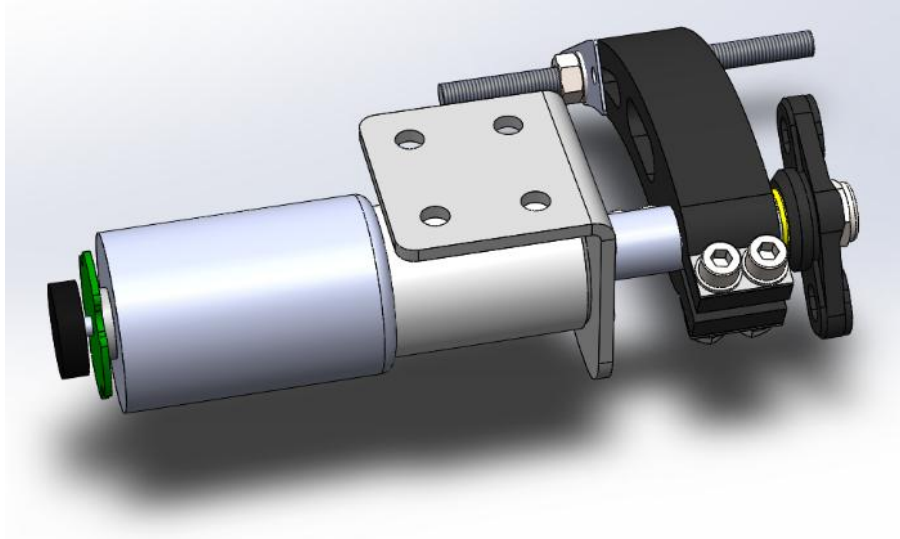
Μετά την τοποθέτηση του άξονα κίνησης στον κεντρικό άξονα του ηλεκτροκινητήρα, σχεδιάστηκε ο πρώτος σύνδεσμος του Delta Robot, καθώς κατασκευάστηκε από πλαστικό τύπου ertalon.



Εικόνα 3.7: Ο πρώτος σύνδεσμος του Delta Robot

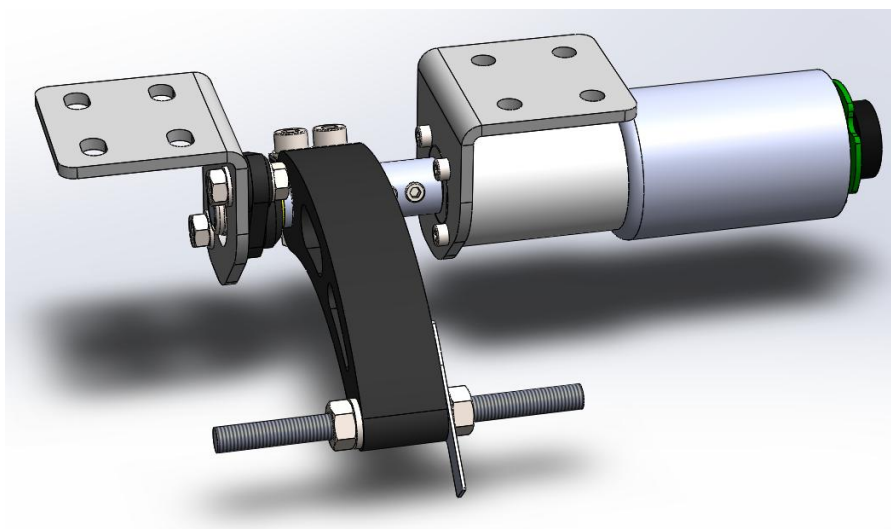
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Αφού ολοκληρώθηκε η συναρμογή του άξονα κίνησης με τον πρώτο σύνδεσμο, εισάχθηκε στη συνέχεια στο υποσύστημα της κίνησης του Delta Robot ένα οβάλ σφαιρικό κουζινέτο από την εταιρία IGUS, για τη στήριξη του άξονα κίνησης.



Εικόνα 3.8: Συναρμογή του κουζινέτου στον άξονα κίνησης

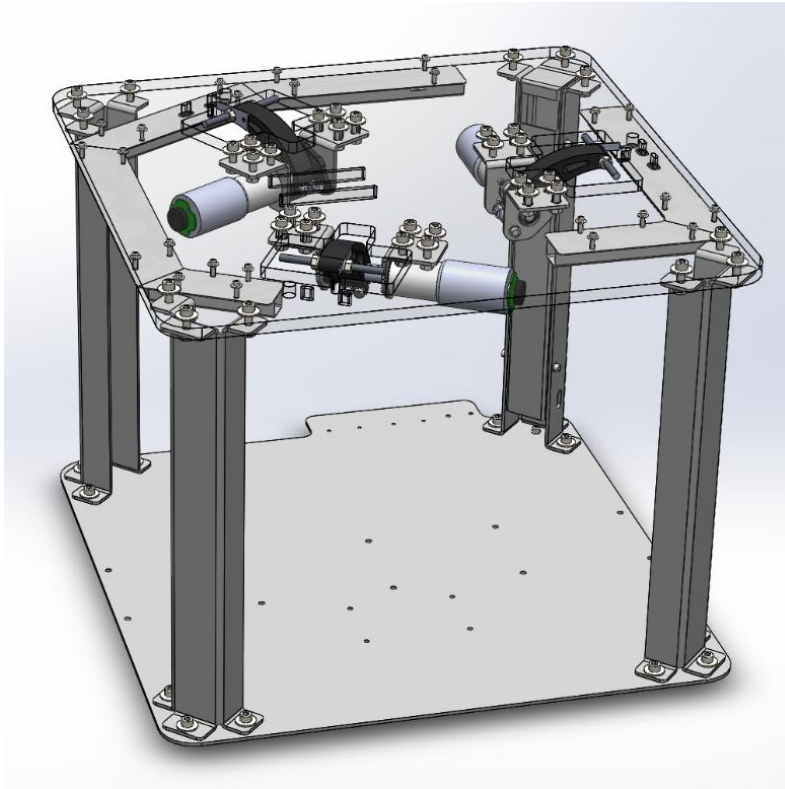
Στη συνέχεια σχεδιάστηκε η βάση στήριξης του κουζινέτου του υποσυστήματος κίνησης, ίδιων διαστάσεων με τη βάση στήριξης του ενεργοποιητή, για τη συναρμογή του στο κεντρικό σώμα του συστήματος.



Εικόνα 3.9: Ολοκληρωμένο υποσύστημα κίνησης

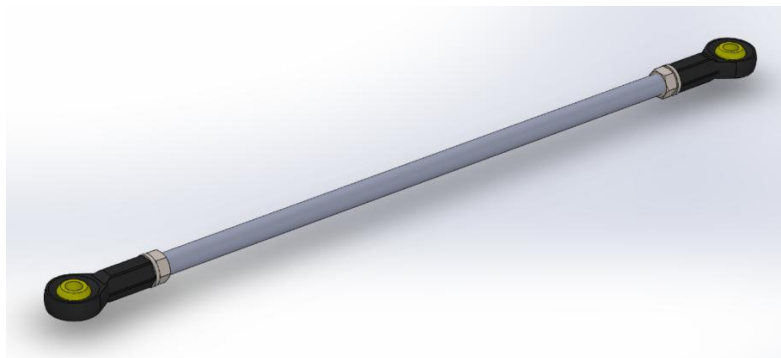
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Αφού ολοκληρώθηκε ο σχεδιασμός του υποσυστήματος της κίνησης του Delta Robot, μετέπειτα ενσωματώθηκαν τρία ίδια υποσυστήματα στην άνω βάση του κεντρικού σώματος.



Εικόνα 3.10: Συναρμολγή των υποσυστημάτων κίνησης στο κυρίως σώμα

Στη συνέχεια σχεδιάστηκε ο δεύτερος σύνδεσμος του Delta Robot, ο οποίος αποτελείται από μια κεντρική ράβδο, όπου και στις δύο άκρες τις έχουν ενσωματωθεί δύο σφαιρικές αρθρώσεις τύπου rod end, από την εταιρία IGUS.



Εικόνα 3.11: Δεύτερος σύνδεσμος του Delta Robot

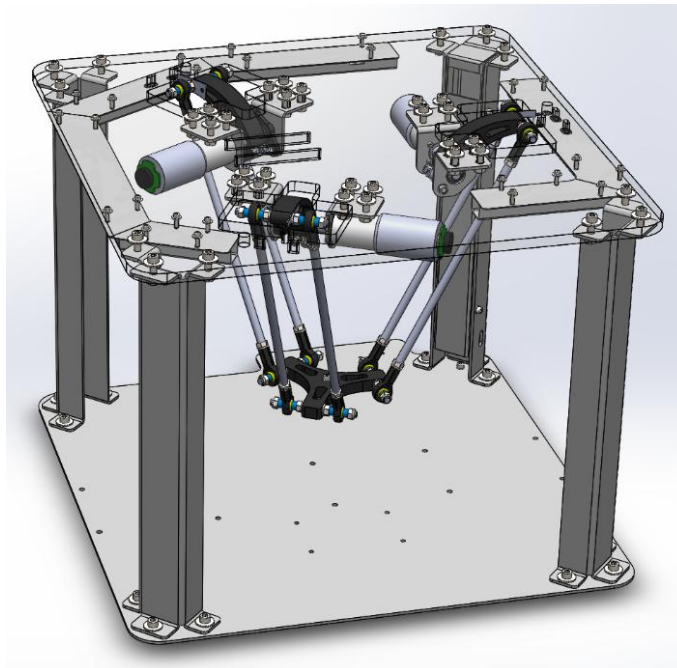
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Μετάπειτα σχεδιάστηκε το τελικό στοιχείο δράσης του Delta Robot, το οποίο κατασκευάστηκε από πλαστικό τύπου ertalon, καθώς επίσης συγκρατεί το τελικό εργαλείο δράσης, το οποίο στη δικιά μας περίπτωση είναι ένας ηλεκτρομαγνήτης.



Εικόνα 3.12: Τελικό στοιχείο δράσης του Delta Robot

Τοποθετώντας το ένα άκρο των συνδέσμων-ράβδων ανα δυάδα σε κάθε υποσύστημα κίνησης, και στη συνέχεια τα υπόλοιπα άκρα των συνδέσμων-ράβδων στο τελικό στοιχείο δράσης, ολοκληρώνεται ο σχεδιασμός του συστήματος που αφορά το Delta Robot.

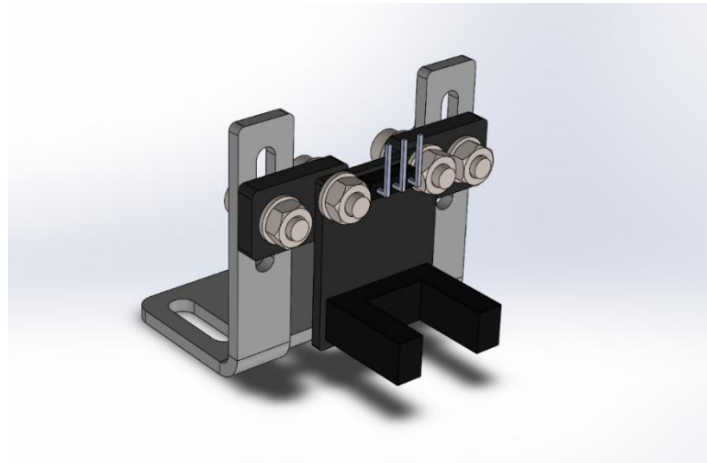


Εικόνα 3.13: Ολοκληρωμένο Delta Robot



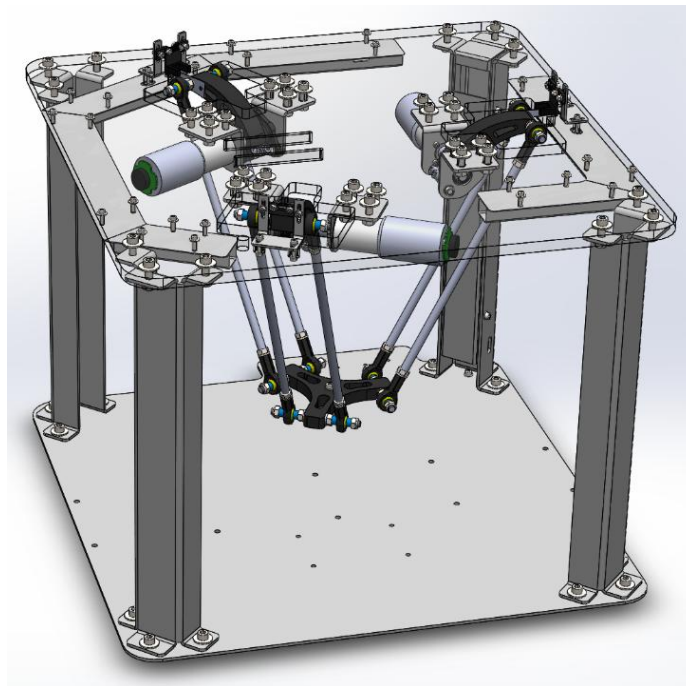
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Στη συνέχεια διαστασιολογήθηκαν και σχεδιάστηκαν οι αισθητήρες αρχικοποίησης του συστήματος ούτως ώστε να εισαχθούν στο συνολικό 3D μοντέλο, καθώς μετέπειτα για τη τοποθέτηση τους στο κεντρικό σώμα σχεδιάστηκε κατάλληλο σύστημα στήριξης.



Εικόνα 3.14: Αισθητήρες του Delta Robot με βάση

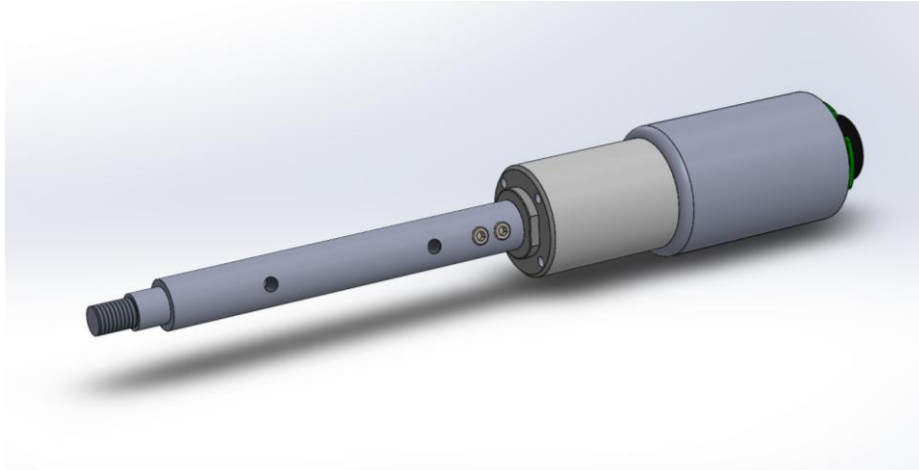
Αφού ολοκληρώθηκε ο σχεδιασμός του υποσυστήματος των αισθητηρίων, μετέπειτα ενσωματώθηκαν και τοποθετήθηκαν τρία ίδια υποσυστήματα στις κατάλληλες θέσεις, στην άνω βάση του κεντρικού σώματος.



Εικόνα 3.15: Συναρμογή των αισθητήρων στο κεντρικό σώμα

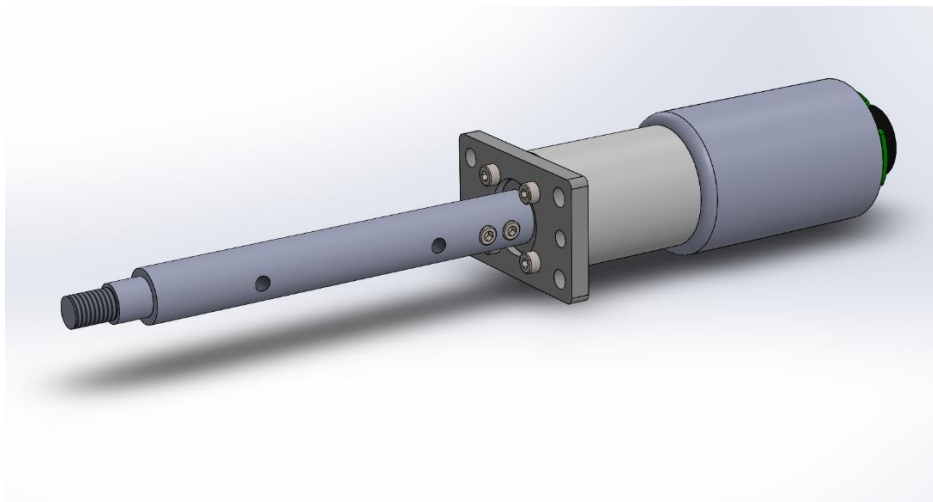
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Για τη μετάδοση κίνησης από τον άξονα του ηλεκτροκινητήρα στο ράουλο κίνησης του ταινιόδρομου, σχεδιάστηκε κατάλληλος άξονας για τη σωστή συναρμογή του με τον άξονα του ηλεκτροκινητήρα, το ράουλο κίνησης, και το κουζινέτο στήριξης.



Εικόνα 3.16: Ενεργοποιητής με τον άξονα μετάδοσης κίνησης

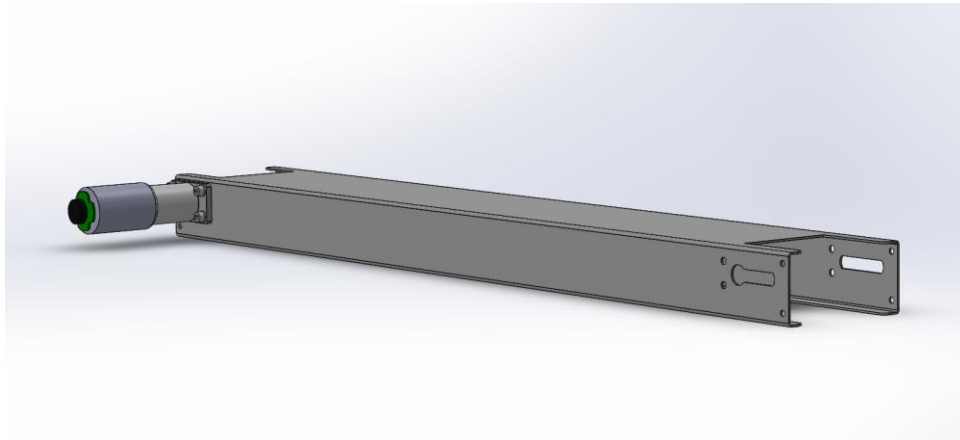
Μετά τη τοποθέτηση του άξονα κίνησης σχεδιάστηκε η βάση στήριξης του ενεργοποιητή, για τη συναρμογή του στο κυρίως σώμα του υποσυστήματος του ταινιόδρομου.



Εικόνα 3.17: Ενεργοποιητής με τη βάση στήριξης, και τον άξονα μετάδοσης κίνησης

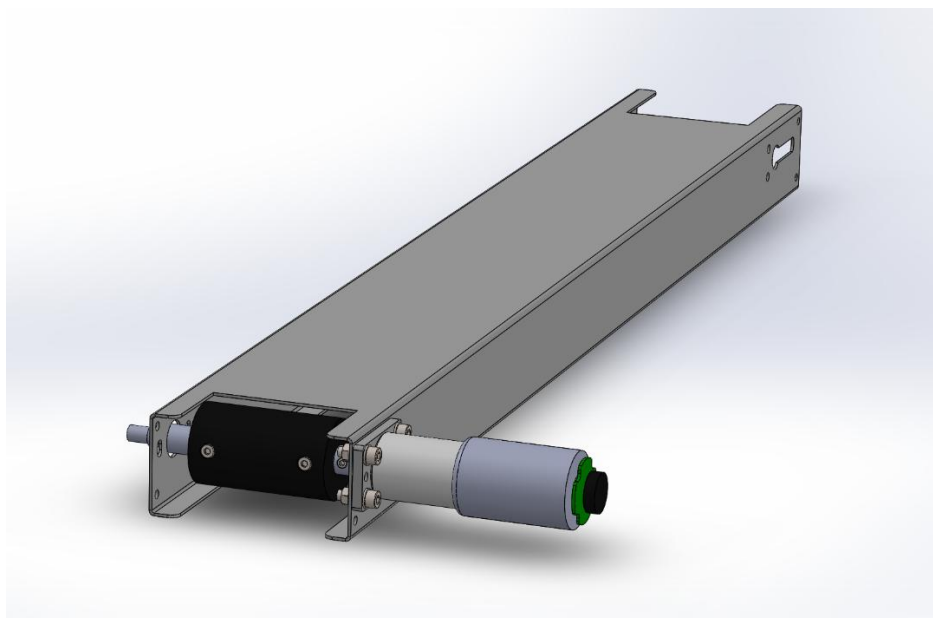
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Στη συνέχεια έχοντας σχεδιάσει το κυρίως σώμα του ταινιόδρομου με βάση τις επιθυμητές διαστάσεις, ο ενεργοποιητής τοποθετήθηκε στη κατάλληλη θέση για τη σωστή λειτουργία της ταινίας.



Εικόνα 3.18: Συναρμογή ενεργοποιητή στο κυρίως σώμα του ταινιόδρομου

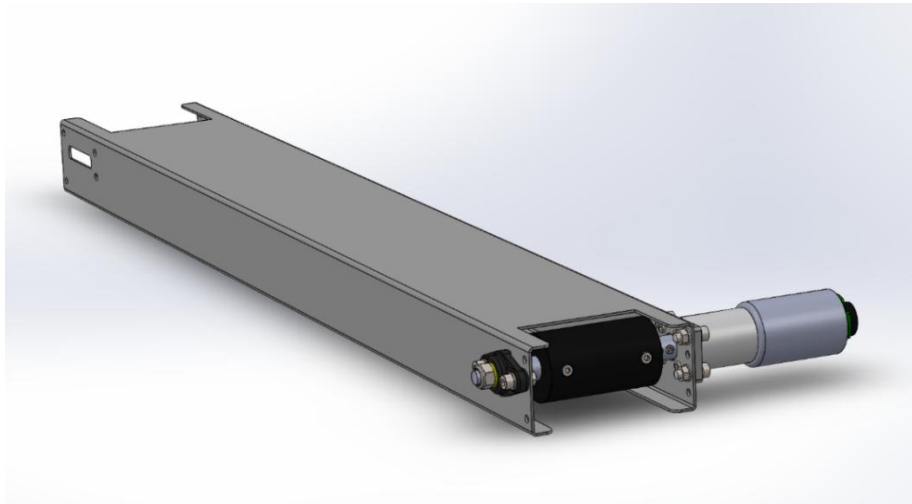
Μετά τη συναρμογή του ενεργοποιητή με το κυρίως σώμα του υποσυστήματος του ταινιόδρομου, σχεδιάστηκε και το ράουλο κίνησης της ταινίας, καθώς κατασκευάστηκε από πλαστικό τύπου ertacetal.



Εικόνα 3.19: Συναρμογή του ράουλου κίνησης

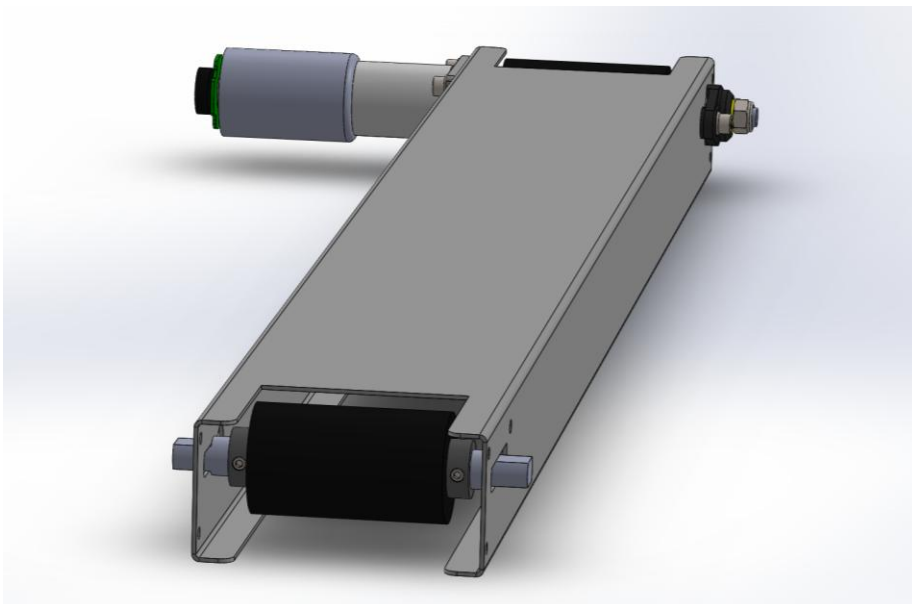
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Αφού ολοκληρώθηκε η συναρμογή του υποσυστήματος κίνησης της ταινίας με το κυρίως σώμα του ταινιόδρομου, εισάχθηκε στη συνέχεια στο συνολικό υποσύστημα του ταινιόδρομου ένα οβάλ σφαιρικό κουζινέτο από την εταιρία IGUS, για τη στήριξη του άξονα κίνησης.



Εικόνα 3.20: Συναρμογή του κουζινέτου κίνησης

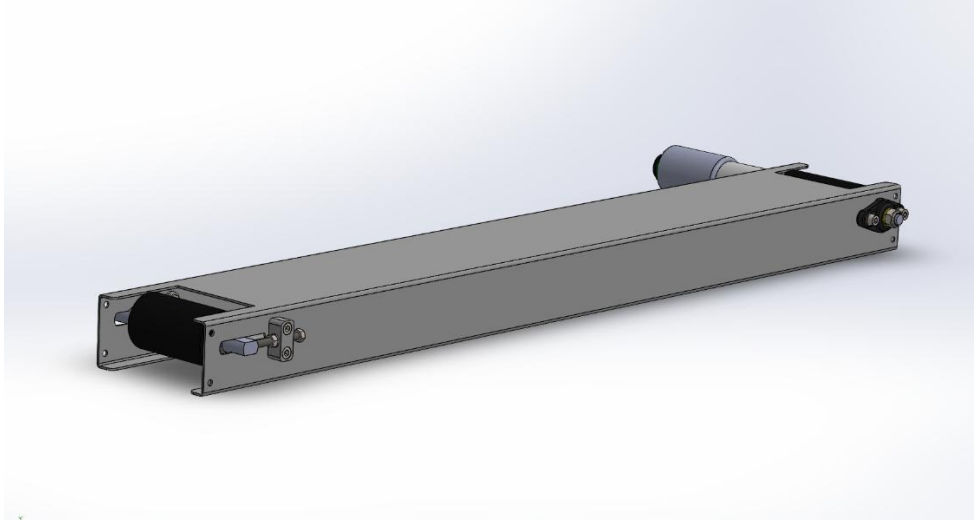
Στη συνέχεια σχεδιάστηκε το υποσύστημα του ράουλου επιστροφής της ταινίας, το οποίο αποτελείται από τον κυρίως άξονα, το ράουλο επιστροφής ίδιου υλικού με το ράουλο κίνησης, και δυο πλευρικά stoppers.



Εικόνα 3.21: Συναρμογή του ράουλου επιστροφής

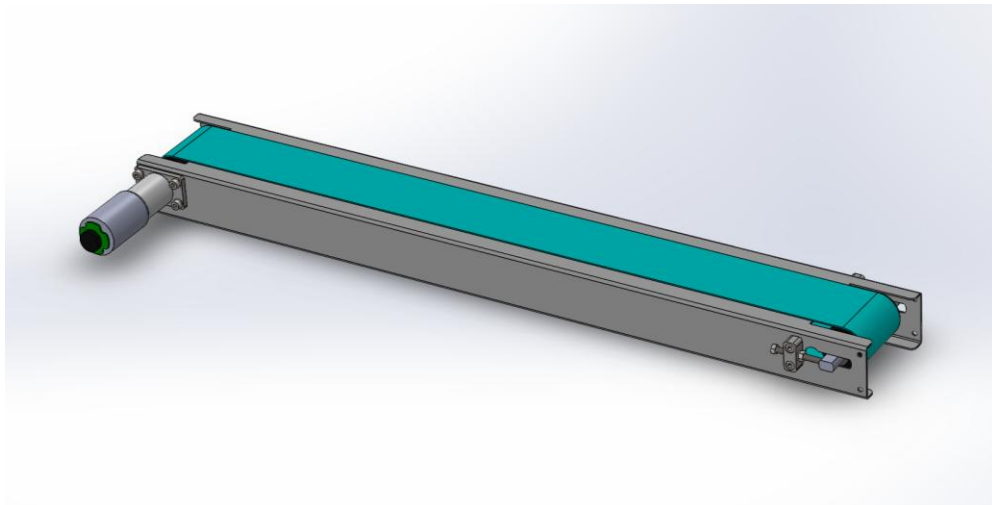
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Για την ολοκλήρωση του υποσυστήματος του ράουλου επιστροφής, σχεδιάστηκαν και τοποθετήθηκαν στο κυρίως σώμα του ταινιόδρομου δύο τακάκια ρύθμισης, τα οποία λειτουργούν ως εντατήρες της ταινίας.



Εικόνα 3.22: Συναρμογή των εντατήρων της ταινίας

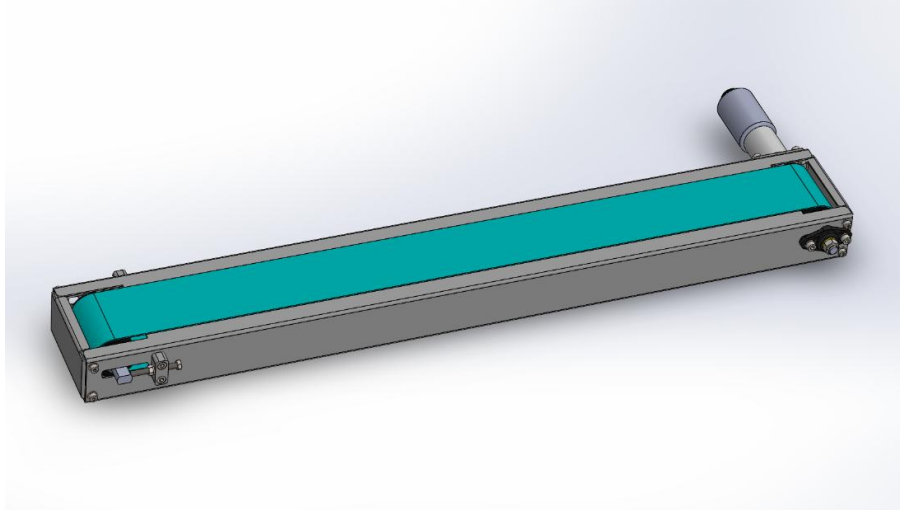
Έχοντας σχεδιάσει και τοποθετήσει κατάλληλα και τα δύο υποσυστήματα των ράουλων της ταινίας, στη συνέχεια έγινε η σωστή επιλογή των διαστάσεων της ταινίας, και η τοποθέτηση της στο υποσύστημα του ταινιόδρομου.



Εικόνα 3.23: Συναρμογή της ταινίας

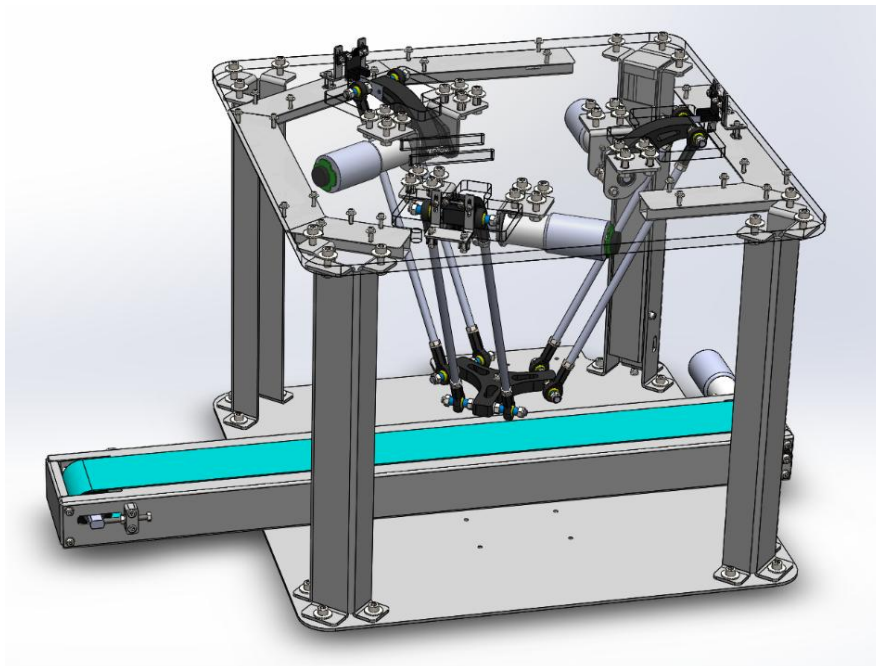
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Μετά τη τοποθέτηση της ταινίας, σχεδιάστηκαν και τοποθετήθηκαν τα καπάκια του ταινιόδρομου για το μπροστινό και το πίσω μέρος της ταινίας, ολοκληρώνοντας έτσι το σχεδιασμό του υποσυστήματος του ταινιόδρομου.



Εικόνα 3.24: Ολοκληρωμένος ταινιόδρομος

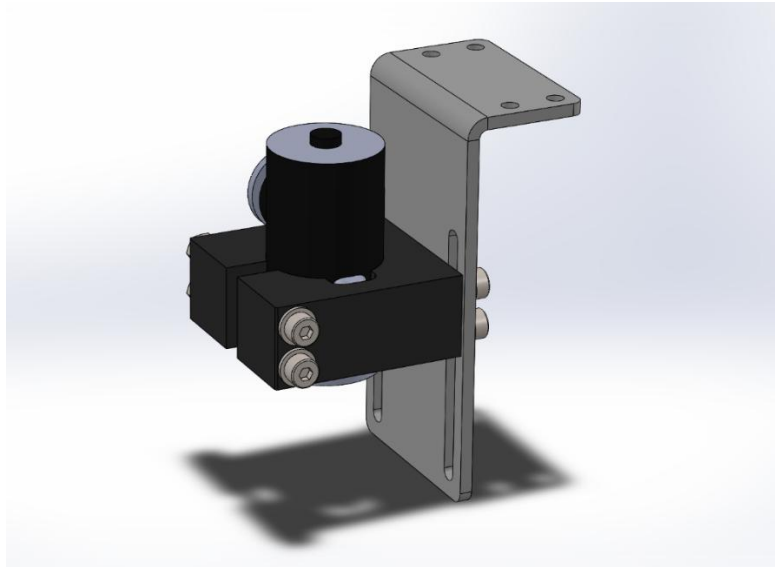
Αφού ολοκληρώθηκε ο σχεδιασμός του υποσυστήματος του ταινιόδρομου, επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση του στο συνολικό σύστημα, με τη σωστή συναρμογή του στις κατάλληλες οπές της κάτω βάσης του κυρίως σώματος.



Εικόνα 3.25: Συναρμογή του ταινιόδρομου στο συνολικό σύστημα

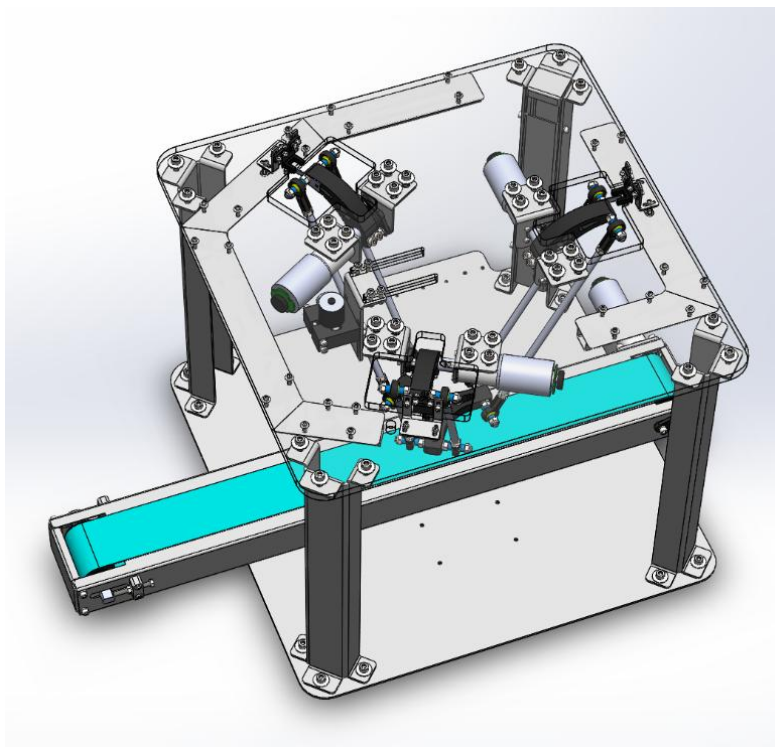
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Στη συνέχεια διαστασιολογήθηκε και σχεδιάστηκε η κάμερα του συστήματος ούτως ώστε να εισαχθεί στο συνολικό 3D μοντέλο, καθώς μετέπειτα για τη τοποθέτηση της στο κεντρικό σώμα σχεδιάστηκε κατάλληλο σύστημα στήριξης.



Εικόνα 3.26: Η κάμερα του συστήματος με τη γωνία στήριξης

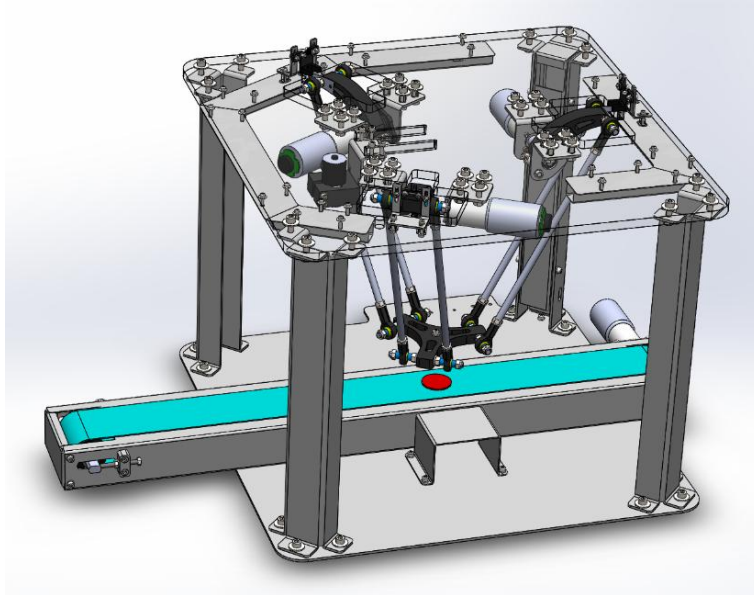
Έχοντας ολοκληρώσει το σχεδιασμό του υποσυστήματος της κάμερας, το επόμενο βήμα είναι η σωστή τοποθέτηση του στις κατάλληλες σπές της άνω βάσης του κυρίως σώματος.



Εικόνα 3.27: Συναρμογή της κάμερας στο συνολικό σύστημα

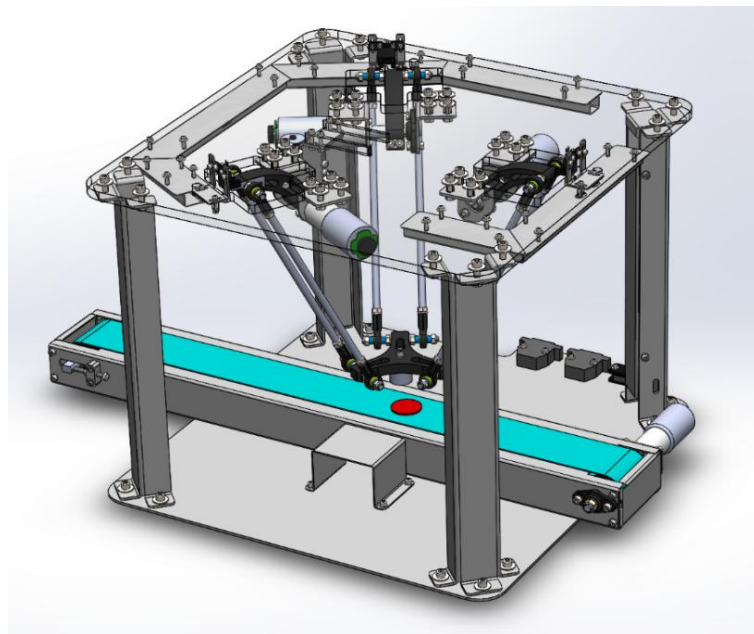
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Έχοντας σχεδόν ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός του συστήματος, σχεδιάστηκε στη συνέχεια μια βάση μπροστά από τον ταινιόδρομο, στην οποία το Delta Robot θα τοποθετεί το αντικείμενο μετά το τέλος της επιθυμητής διεργασίας.



Εικόνα 3.28: Συναρμολόγηση της βάσης τοποθέτησης του αντικειμένου

Για την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του συστήματος διαστασιολογήθηκαν και σχεδιάστηκαν οι απαραίτητες θύρες του συστήματος για τη τροφοδοσία του, αλλά και την αποστολή σημάτων στον controller, καθώς επίσης σχεδιάστηκαν οι κατάλληλες οπές για τη στήριξή τους στο πίσω μέρος της κάτω βάσης του σώματος του συστήματος.

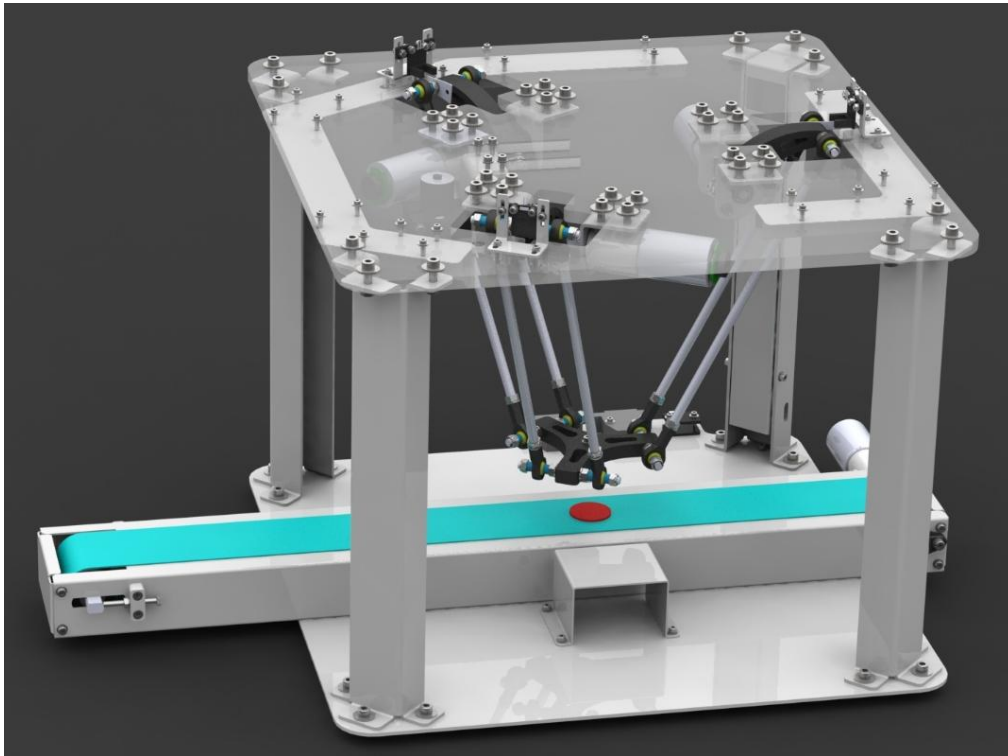


Εικόνα 3.29: Ολοκληρωμένο ρομποτικό σύστημα



## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Τέλος, αφού ολοκληρώθηκε πλήρως ο σχεδιασμός του συστήματος στο 3D CAD λογισμικό, έγινε η εξαγωγή του σχεδίου σε φωτορεαλιστική φωτογραφία, για τη βέλτιστη απεικόνιση του τελικού σχεδίου πριν από τη κατασκευή του συστήματος, ολοκληρώνοντας έτσι το κομμάτι του σχεδιασμού.



Εικόνα 3.30: Φωτορεαλιστικό 3D σχέδιο του ρομποτικού συστήματος

### 3.4 Ενεργοποιητής Συστήματος

Όλοι οι ηλεκτρικοί κινητήρες ανήκουν σε μια βασική κατηγορία, τη κατηγορία των στρεφόμενων ηλεκτρικών μηχανών. Η βασική αρχή λειτουργίας μίας στρεφόμενης ηλεκτρικής μηχανής είναι η μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική, καθώς και το αντίστροφο.

Όταν μία ηλεκτρική μηχανή χρησιμοποιείτε ως κινητήρα, το ηλεκτρικό ρεύμα που τον διαρρέει μετατρέπεται σε μηχανική κίνηση, όταν όμως η ηλεκτρική μηχανή χρησιμοποιείτε ως γεννήτρια συμβαίνει το ακριβώς ανάποδο φαινόμενο. Και η λειτουργία των ηλεκτρικών κινητήρων, αλλά και των ηλεκτρικών γεννητριών βασίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.

Όταν ένα ηλεκτρικά αγώγιμο υλικό, δηλαδή ένας αγωγός, περιστρέφεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, τότε στο εσωτερικό του αγωγού δημιουργείτε μία επαγωγική ηλεκτρεγερτική δύναμη, άρα και κάποιο ηλεκτρικό δυναμικό, καθώς λόγω της ύπαρξής του εμφανίζεται ηλεκτρικό ρεύμα στον αγωγό. Οι κινητήρες όμως χρησιμοποιούν ένα αντίστοιχο φαινόμενο ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Όταν ένας ηλεκτρικός αγωγός που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα τοποθετηθεί στο εσωτερικό ενός μαγνητικού πεδίου, το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη στον αγωγό η οποία έχει τη τάση να τον περιστρέψει.

Η ασκούμενη δύναμη είναι ανάλογη της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, της έντασης του μαγνητικού πεδίου, και του μήκους του αγωγού. Η φορά της δύναμης που ασκείτε στον αγωγό αναστρέφεται αν αλλάξει φορά το ρεύμα, ή αν το μαγνητικό πεδίο αλλάξει πολικότητα. Η κίνηση ενός ηλεκτρικού κινητήρα δημιουργείτε όταν εφαρμοστεί ηλεκτρικό ρεύμα σε πηνία του κινητήρα όταν αυτά βρίσκονται στο εσωτερικό ενός μαγνητικού πεδίου, καθώς επίσης ανάλογα με το είδος του ηλεκτρικού κινητήρα για τη λειτουργία του χρησιμοποιείτε συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα.

Υπάρχουν αρκετά είδη ηλεκτρικών κινητήρων, όμως ο πιο κοινός τύπος ηλεκτροκινητήρων που χρησιμοποιείται κατά κόρον είναι οι Brushed DC ηλεκτροκινητήρες. Ο κύριος λόγος που αυτό το είδος ηλεκτροκινητήρα χρησιμοποιείται σε πάρα πολλές εφαρμογές είναι η πολύ απλή αρχή λειτουργίας του, κάτι το οποίο συνεπάγεται και στο αρκετά χαμηλό κόστος κατασκευής του. Επίσης ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι τροφοδοτείται με DC τάση, κάτι το οποίο καθιστά τον έλεγχο του ηλεκτροκινητήρα αρκετά εύκολο, καθώς πραγματοποιείται με αλλαγή στη τάση τροφοδοσίας του. Τέλος το σημαντικότερο μειονέκτημα αυτού του είδους ηλεκτροκινητήρων είναι η χρήση ψηκτρών, καθώς λόγω της συνεχής τριβής με τον εναλλάκτη, οι ψήκτρες φθείρονται και χρειάζονται αλλαγή.

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Ένας Brushed DC ηλεκτρικός κινητήρας αποτελείται από τα εξής παρακάτω υποσυστήματα:

**1)** Τον στάτορα, ο οποίος αποτελείται είτε από μαγνήτες, είτε από πηνία τα οποία τροφοδοτούνται με DC ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο περιστρέφει τον ρότορα, λόγω της δύναμης που ασκείται στα πηνία του.

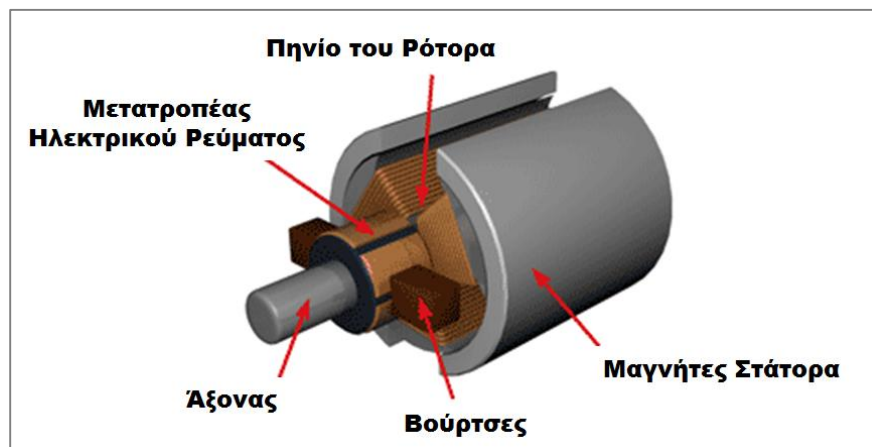
**2)** Ο ρότορας, ο οποίος αποτελείται από πολλά πηνία, όπου καθώς περιστρέφεται κάθε ένα πηνίο του τροφοδοτείται εναλλάξ με ρεύμα από τις ψήκτρες του ηλεκτροκινητήρα.

**3)** Οι ψήκτρες, οι οποίες είναι κατασκευασμένες από γραφίτη, αναλαμβάνουν μέσω της τριβής τη σύνδεση του εναλλάκτη με την εξωτερική τροφοδοσία.

**4)** Ο εναλλάκτης, ο οποίος αποτελείται από μια σειρά μεταλλικών συνδέσεων, πάνω σε έναν κεντρικό περιστρεφόμενο κύλινδρο. Έτσι οι ψήκτρες τροφοδοτούν με ρεύμα κάθε μεταλλική σύνδεση εναλλάξ, κατά τη διάρκεια περιστροφής του εναλλάκτη.

Η αρχή λειτουργίας ενός Brushed DC ηλεκτροκινητήρα είναι ως εξής:

Ο στάτορας παράγει μαγνητικό πεδίο είτε με τη χρήση μαγνητών, είτε με τη χρήση πηνίων, καθώς ο ρότορας αποτελείται από πολλά διαφορετικά πηνία. Οι ψήκτρες τροφοδοτούν τα πηνία του ρότορα με τα οποία έρχονται σε επαφή μέσω του εναλλάκτη, με ρεύμα. Το μαγνητικό πεδίο του ρότορα αλληλοεπιδρά με αυτό του στάτορα, και ο ρότορας ξεκινά να περιστρέφεται. Επειδή κάθε πηνίο του ρότορα ξεχωριστά, αλλά και διαδοχικά τροφοδοτείται με ρεύμα με αρκετά γρήγορο ρυθμό, ο ρότορας συνεχίζει και περιστρέφεται μέχρι να φθάσει τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα [43] [44] [45].



Εικόνα 3.31: Το εσωτερικό ενός DC κινητήρα [45]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Ο κινητήρας που χρησιμοποιείται στην εργασία είναι ένας Brushed DC ηλεκτροκινητήρας από την εταιρία Actobotics. Η ονομαστική τάση λειτουργίας του είναι στα 12 Volt, με 0,54 Ampere κατανάλωση χωρίς φορτίο.

Στο μπροστινό μέρος του κινητήρα είναι ενσωματωμένος ένας πλανητικός μειωτήρας στροφών με μείωση 721:1, και αποδίδει μέγιστη ταχύτητα στον τελικό άξονα 12 rpm. Εφαρμόζοντας μέγιστο φορτίο-ροπή 584 kg-cm, έτσι ώστε να σταματήσει να περιστρέφεται ο άξονας του κινητήρα, έχουμε maximum κατανάλωση 20 Ampere.

Επίσης στο πίσω μέρος του κινητήρα είναι ενσωματωμένο ένα μαγνητικό encoder για τον έλεγχο και την ανατροφοδότηση του κινητήρα, το οποίο θα αναλύσουμε στη παρακάτω ενότητα αναλυτικά.

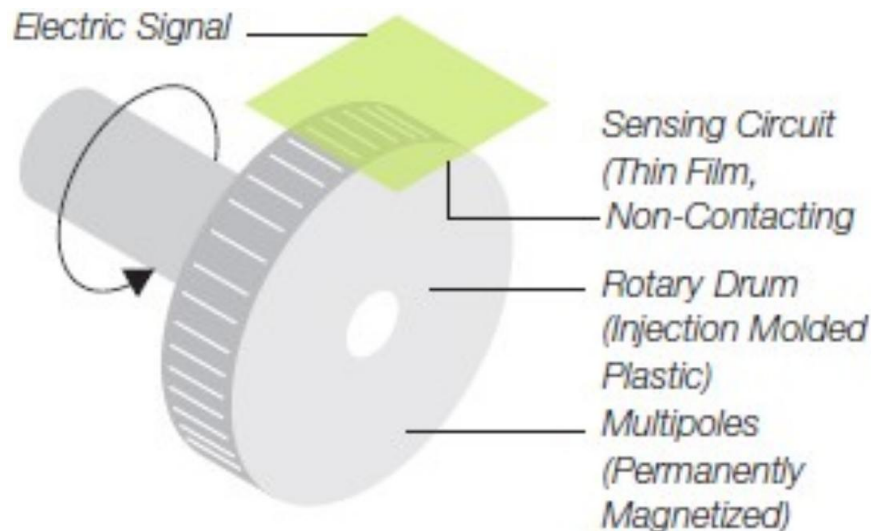


Εικόνα 3.32: Ενεργοποιητής του συστήματος [46]

### 3.5 Αισθητήρες Συστήματος

Οι κωδικοποιητές είτε περιστροφικοί είτε γραμμικοί, χρησιμοποιούν συνήθως μία από τις δύο αρχές μέτρησης, την οπτική ή τη μαγνητική. Ενώ οι οπτικοί κωδικοποιητές ήταν στο παρελθόν η κύρια επιλογή για εφαρμογές υψηλής ανάλυσης, οι βελτιώσεις στην τεχνολογία των μαγνητικών κωδικοποιητών τους επιτρέπει πλέον να επιτύχουν πάρα πολύ ακριβείς αναλύσεις, ανταγωνιζόμενες την οπτική τεχνολογία σε πολλές εφαρμογές. Η μαγνητική τεχνολογία είναι επίσης από πολλές απόψεις, πιο ισχυρή από την οπτική τεχνολογία, καθιστώντας τους μαγνητικούς κωδικοποιητές μια δημοφιλής επιλογή σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Οι μαγνητικοί περιστροφικοί κωδικοποιητές βασίζονται σε τρία βασικά στοιχεία, έναν δίσκο, τον αισθητήρα, και ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα. Ο δίσκος είναι μαγνητισμένος, με πολλούς πόλους γύρω από την περιφέρεια του. Ο αισθητήρας ανιχνεύει την αλλαγή στο μαγνητικό πεδίο καθώς περιστρέφεται ο δίσκος, και μετατρέπει αυτές τις πληροφορίες σε ηλεκτρικό σήμα. Ο αισθητήρας μπορεί να είναι μια συσκευή η οποία ανιχνεύει μια αλλαγή στην τάση, ή μια συσκευή η οποία ανιχνεύει μια αλλαγή στο μαγνητικό πεδίο. Το ηλεκτρονικό κύκλωμα του κωδικοποιητή πολλαπλασιάζει, διαιρεί ή παρεμβάλλει το ηλεκτρικό σήμα του αισθητήρα για να παράξει την επιθυμητή έξοδο.

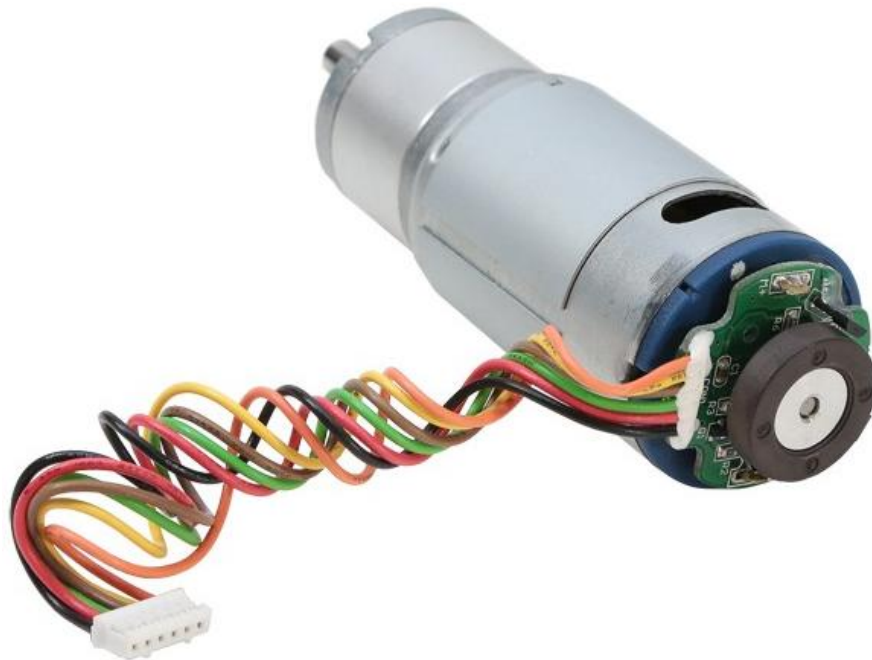


Εικόνα 3.33: Τα κύρια μέρη ενός μαγνητικού κωδικοποιητή [47]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των μαγνητικών κωδικοποιητών είναι η ευρωστία τους. Σε αντίθεση με τους οπτικούς κωδικοποιητές, οι μαγνητικές εκδόσεις δεν είναι ευαίσθητες σε ρύπους, όπως σκόνη, βρωμιά, υγρά και λίπη, καθώς και σε κραδασμούς. Παρόμοια με τους οπτικούς κωδικοποιητές, οι μαγνητικοί κωδικοποιητές απαιτούν ένα κενό αέρα μεταξύ του μαγνητικού δίσκου και του αισθητήρα. Ωστόσο, το κενό αέρα σε έναν μαγνητικό κωδικοποιητή δεν χρειάζεται να είναι καθαρό και διαφανές, όπως συμβαίνει για έναν οπτικό κωδικοποιητή. Όσο δεν υπάρχει υλικό σιδήρου μεταξύ του δίσκου και του αισθητήρα, οι μαγνητικοί παλμοί θα ανιχνευθούν. Δύο σημαντικές προδιαγραφές για την ορθή λειτουργία των μαγνητικών κωδικοποιητών είναι η ακτινική τοποθέτηση του αισθητήρα σε σχέση με τον μαγνητισμένο δίσκο, καθώς και η απόσταση μεταξύ του αισθητήρα και του μαγνήτη [47].

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιείτε ένας μαγνητικός περιστροφικός κωδικοποιητής, ο οποίος είναι ενσωματωμένος στο πίσω μέρος του ενεργοποιητή. Ο μαγνητισμένος δίσκος του έχει 24 πόλους, και μια πλήρη περιστροφή του τελικού άξονα του ενεργοποιητή, αντιστοιχεί σε 8.652 παλμούς του κωδικοποιητή.



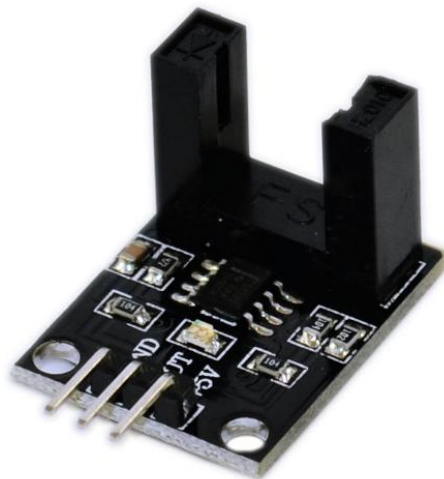
Εικόνα 3.34: Κωδικοποιητής του συστήματος [46]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Οι ηλεκτροπτικοί αισθητήρες είναι ηλεκτρονικοί ανιχνευτές που μετατρέπουν το φως ή μια αλλαγή του φωτός σε ηλεκτρονικό σήμα, καθώς χρησιμοποιούνται σε πάρα πολλές βιομηχανικές και όχι μόνο εφαρμογές. Μερικές από τις κύριες εφαρμογές των ηλεκτροπτικών αισθητήρων αφορούν τον αυτόματο φωτισμό σε παρουσία φωτός και μη, αισθητήρες που ενεργοποιούνται όταν διακοπεί μία δέσμη φωτός, καθώς και αισθητήρες ανίχνευσης απόστασης. Κυρίως όμως οι ηλεκτροπτικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται όταν το φως χρειάζεται να μετατραπεί σε ενέργεια. Εξαιτίας αυτού, οι ηλεκτροπτικοί αισθητήρες μπορούν να παρατηρηθούν σχεδόν οπουδήποτε. Οι κοινές εφαρμογές είναι τα smartphones, όπου οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της φωτεινότητας της οθόνης.

Η βασική αρχεία λειτουργίας ενός τέτοιου αισθητήρα είναι η μετατροπή των ακτινών φωτός σε ηλεκτρονικά σήματα. Ένας ηλεκτροπτικός αισθητήρας μετράει τη φυσική ποσότητα του φωτός, και στη συνέχεια τη μεταφράζει σε μία μορφή ηλεκτρικής τάσης, η οποία αναγνωρίζεται από ένα όργανο μέτρησης. Ένας οπτικός αισθητήρας είναι γενικά ένα κομμάτι ενός μεγαλύτερου συστήματος που ενσωματώνει μια πηγή φωτός, μια συσκευή μέτρησης και έναν οπτικό αισθητήρα. Όταν συμβαίνει μια αλλαγή στη δέσμη φωτός, ο αισθητήρας φωτός λειτουργεί ως μια φωτοηλεκτρική σκανδάλη, και ως εκ τούτου αυξάνει ή μειώνει την ηλεκτρική έξοδο [48].

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιείται ένα αισθητήριο διακοπής δέσμης, του οποίου η τάση λειτουργίας είναι στα 5 Volt. Αποτελείται από μία πηγή ακτινοβολίας φωτός, και τον ανάλογο δέκτη, καθώς όταν διακοπεί η δέσμη, το ηλεκτρονικό κύκλωμα του αισθητηρίου παράγει στην έξοδο του σήμα τάσης 5 Volt.



Εικόνα 3.35: Ηλεκτροπτικός αισθητήρας του συστήματος [49]

### 3.6 Εργαλείο Τελικής Δράσης Συστήματος

Κάθε αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα δημιουργεί γύρω του ένα μαγνητικό πεδίο. Αυτό το πεδίο όμως είναι εξαιρετικά ασθενές και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα. Αν όμως τυλίξουμε πολλές σπείρες μονωμένου καλωδίου γύρω από μία ράβδο μαλακού σιδήρου και περάσουμε ρεύμα μέσα από το καλώδιο, τότε δημιουργούμε έναν ηλεκτρομαγνήτη. Η διάταξη αυτή παρουσιάζει μαγνητικές ιδιότητες μόνο όταν τροφοδοτείται με ρεύμα. Συνεπώς ο ηλεκτρομαγνήτης είναι μία διάταξη που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μαγνητική. Οι ηλεκτρομαγνήτες χρησιμοποιούνται για την ανύψωση μεγάλων μεταλλικών αντικειμένων, ως διακόπτες κυκλωμάτων, σε ηλεκτρικές κλειδαριές για να ανοίγουν τις πόρτες, και σε πολλές άλλες εφαρμογές [50].

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο τελικής δράσης ένας μικρός ηλεκτρομαγνήτης με ονομαστική τάση λειτουργίας τα 12 Volt, κυρίως λόγω της ευκολίας τόσο στη χρήση και τον έλεγχο, αλλά και λόγω του μειωμένου βάρους και πολυπλοκότητας του υποσυστήματος της αρπάγης. Εισάγοντας βέβαια το μειονέκτημα της επιλογής αντικειμένων προς διαλογή, καθώς περιορίζεται μόνο σε μικρά ελαφριά μεταλλικά αντικείμενα.



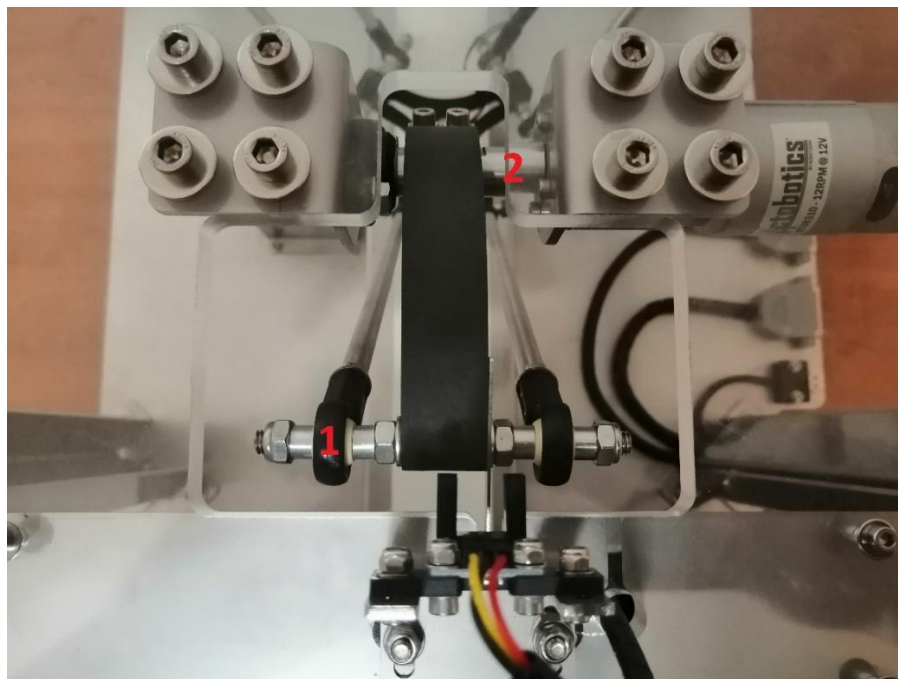
Εικόνα 3.36: Ηλεκτρομαγνήτης του συστήματος [51]



### 3.7 Σύνοψη Κεφαλαίου

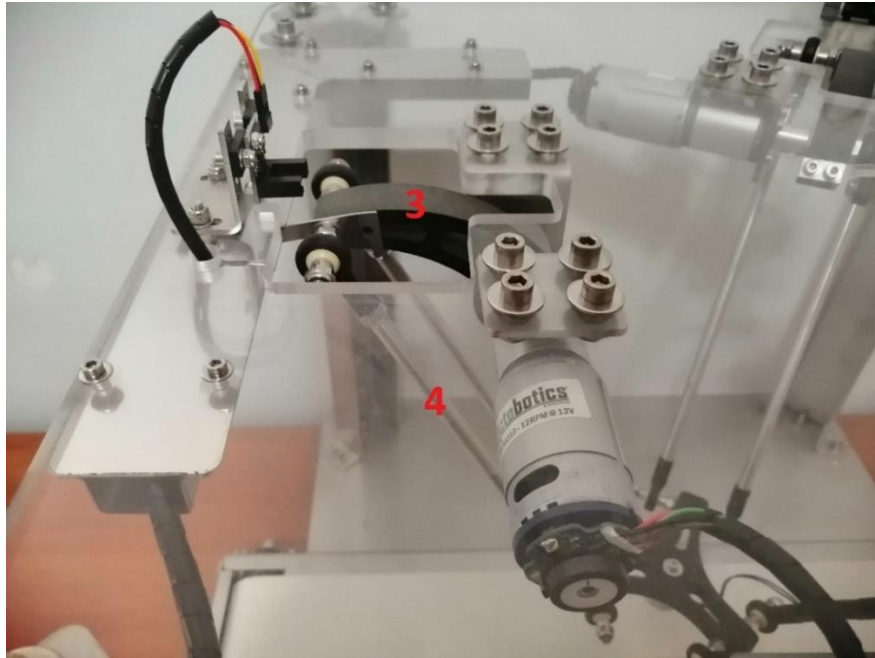
Έχοντας ολοκληρώσει τον σχεδιασμό του συστήματος, και μετέπειτα κατασκευάσει όλα τα απαραίτητα κομμάτια-εξαρτήματα που το απαρτίζουν χρησιμοποιώντας είτε CNC, είτε συμβατικές εργαλειομηχανές, ολοκληρώθηκε η κατασκευή του συστήματος συναρμολογώντας μεταξύ τους τα επιμέρους υποσυστήματα, καθώς επίσης και τους ενεργοποιητές, αλλά και τα αισθητήρια του συστήματος.

Στις παρακάτω τρεις φωτογραφίες παρουσιάζεται το συναρμολόγημα του ενεργοποιητή [5] με την κινητήρια περιστροφική άρθρωση [2], τον πρώτο σύνδεσμο [3], τον δεύτερο σύνδεσμο [4], και τις παθητικές σφαιρικές αρθρώσεις [1] που τους ενώνουν.

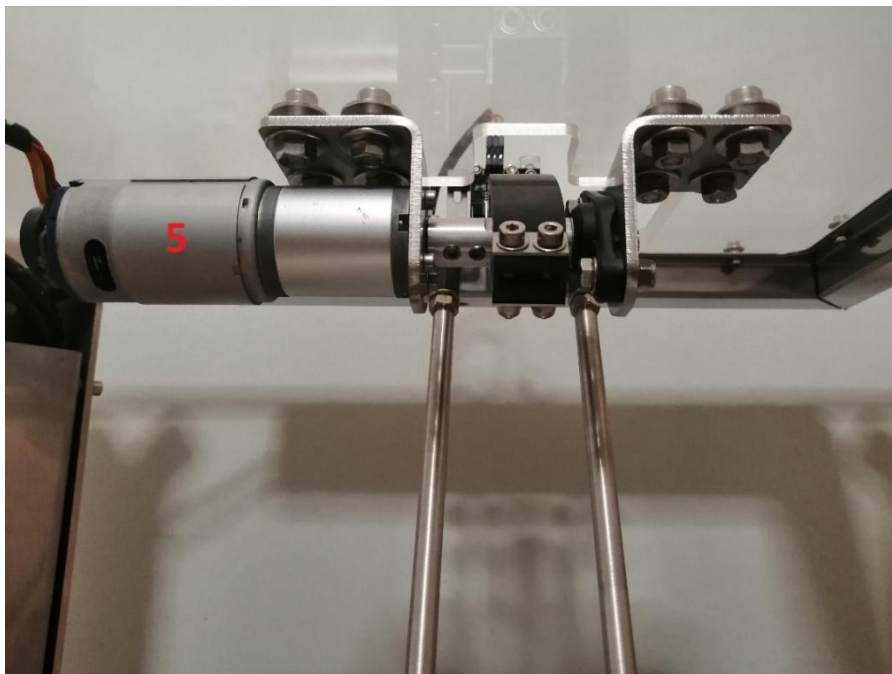


Εικόνα 3.37: Κάτοψη της πρώτης άρθρωσης, και του πρώτου και δεύτερου συνδέσμου

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής



Εικόνα 3.38: Πλάγια όψη της πρώτης άρθρωσης, και του πρώτου και δεύτερου συνδέσμου



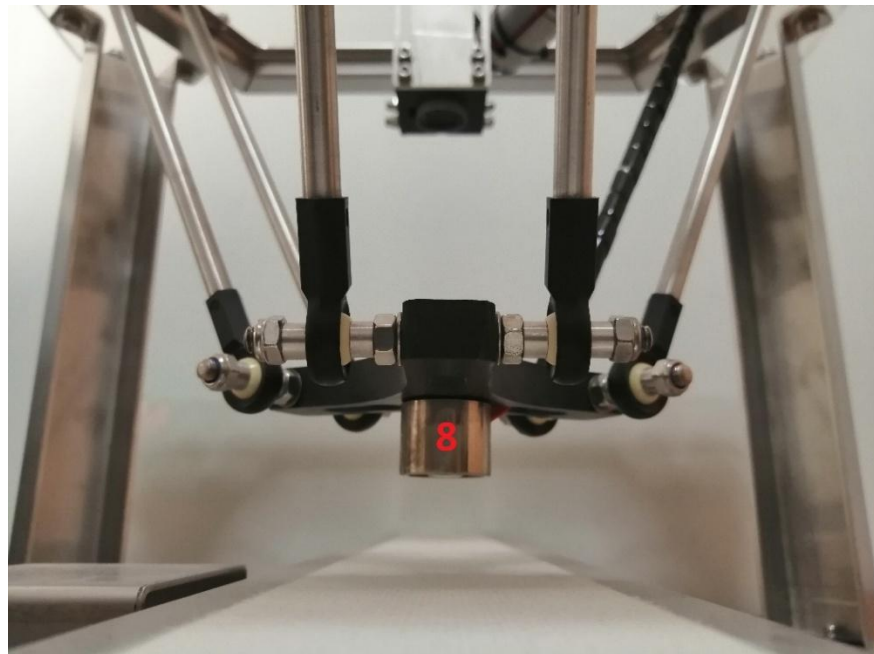
Εικόνα 3.39: Πρόσοψη της πρώτης άρθρωσης, και του πρώτου και δεύτερου συνδέσμου

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Στις παρακάτω δύο φωτογραφίες παρουσιάζεται το συναρμολόγημα του δεύτερου συνδέσμου [4], του τελικού στοιχείου δράσης [7], των παθητικών σφαιρικών αρθρώσεων [6], και του τελικού εργαλείου δράσης [8] του πραγματικού συστήματος.



Εικόνα 3.40: Κάτοψη του δεύτερου συνδέσμου, του ΤΣΔ, και του ΤΕΔ



Εικόνα 3.41: Πρόσοψη του δεύτερου συνδέσμου, του ΤΣΔ, και του ΤΕΔ

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Στις παρακάτω δύο φωτογραφίες παρουσιάζεται το συναρμολόγημα της μεταφορικής ταινίας του πραγματικού συστήματος.

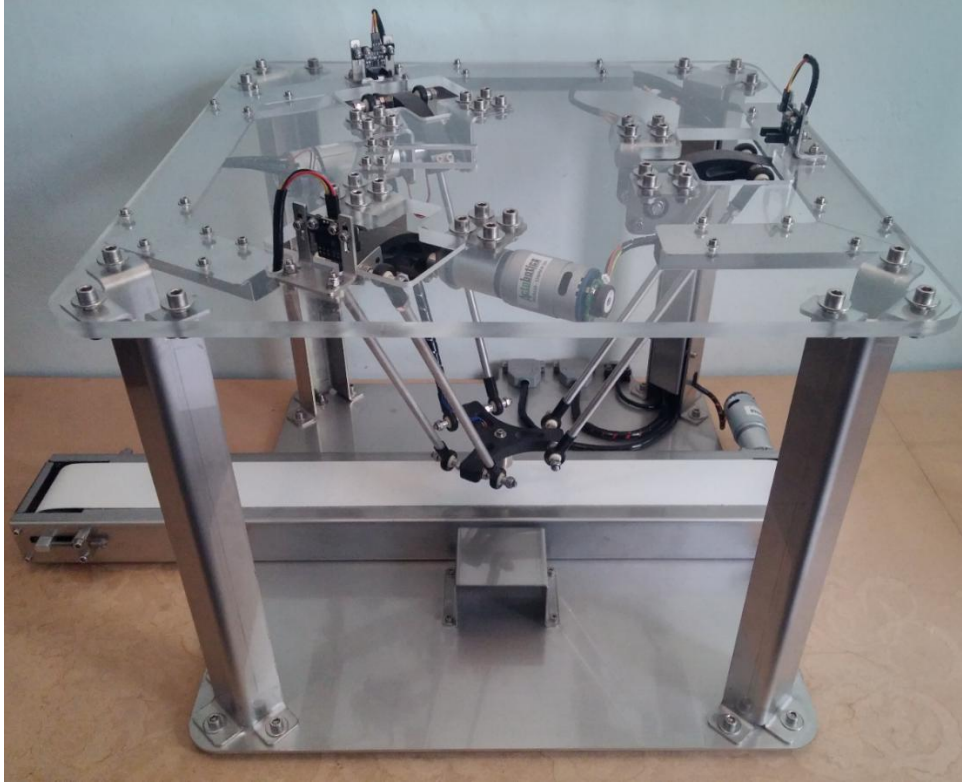


Εικόνα 3.42: Ράουλο επιστροφής, και εντατήρας ταινίας



Εικόνα 3.43: Κινητήριο ράουλο ταινίας

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής



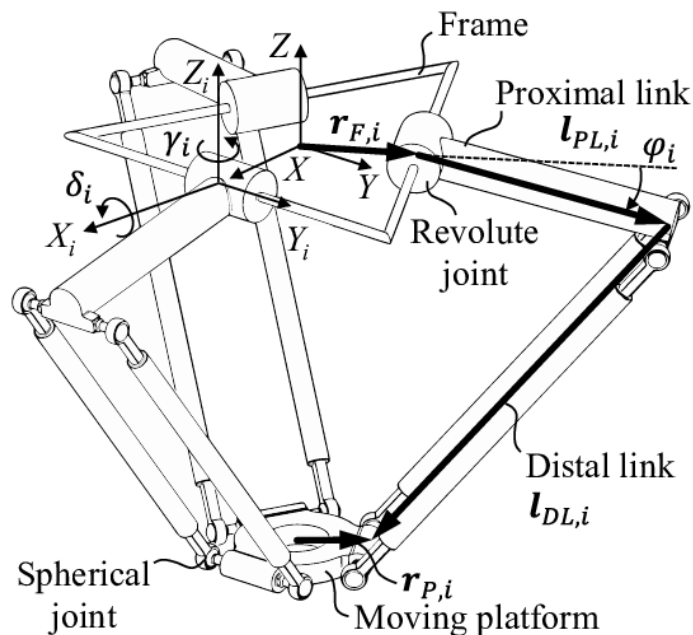
Εικόνα 3.44: Ολοκληρωμένο ρομποτικό σύστημα

Όμως για να τεθεί σε λειτουργία το ρομποτικό σύστημα είναι απαραίτητη η ύπαρξη, άρα και η υλοποίηση ενός controller που θα αναλαμβάνει την οδήγηση του συστήματος, καθώς η κατασκευή του θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Κινηματικό Μοντέλο, Έλεγχος και Όραση

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν, και θα αναλυθούν το κινηματικό μοντέλο του ρομποτικού συστήματος, ο έλεγχος του, καθώς και το υποσύστημα της όρασης.

Κάθε ρομποτικό σύστημα ορίζεται από ένα κινηματικό μοντέλο, το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο σωμάτων τα οποία ονομάζονται σύνδεσμοι, και συνδέονται μεταξύ τους με αρθρώσεις. Κάθε άρθρωση έχει έναν βαθμό ελευθερίας, καθώς αν η άρθρωση επιτρέπει την περιστροφή μεταξύ των συνδέσμων ονομάζεται στροφική, και όταν επιτρέπει τη μετατόπιση μεταξύ των συνδέσμων ονομάζεται πρισματική. Οι πιο σύνθετες αρθρώσεις με περισσότερους βαθμούς ελευθερίας, μπορούν να αναλυθούν σε ένα σύνολο απλών στροφικών και πρισματικών αρθρώσεων ενός βαθμού ελευθερίας.



Εικόνα 4.1: Κινηματική ανάλυση Delta Robot [52]

Για τον έλεγχο ενός ρομποτικού συστήματος χρησιμοποιούνται ελεγκτές, οι οποίοι αναλαμβάνουν τη διόρθωση τυχόν σφάλματος, μεταξύ της επιθυμητής και της πραγματικής τιμής. Ένας τέτοιος ελεγκτής είναι ο τριών όρων PID ελεγκτής.

Τέλος, η χρήση μηχανικής όρασης σε ένα ρομποτικό σύστημα παρέχει αυξημένες δυνατότητες, όσο αναφορά τις πληροφορίες που βοηθούν το ρομποτικό σύστημα στη χειραγώγηση των αντικειμένων που καλείτε να αλληλοεπιδράσει.

## 4.1 Ευθύ Κινηματικό Πρόβλημα

Το ευθύ κινηματικό πρόβλημα ορίζεται ως ο προσδιορισμός των καρτεσιανών συντεταγμένων του τελικού στοιχείου δράσης, με βάση τις τιμές των γενικευμένων μεταβλητών των αρθρώσεων.

Το ευθύ κινηματικό πρόβλημα για τη συγκεκριμένη μορφολογία του ρομποτικού συστήματος ορίζεται ως ο υπολογισμός της καρτεσιανής θέσης του σημείου  ${}^B P_p = [x \ y \ z]^T$ , του τελικού στοιχείου δράσης, με βάση τις γνωστές γωνίες των τριών περιστροφικών αρθρώσεων  $\Theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3]^T$ .

Αφού λοιπόν μας είναι γνωστές οι γωνίες  $\Theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3]^T$ , στη συνέχεια υπολογίζονται τα τρία διανυσματικά σημεία των γονάτων, με τη χρήση της σχέσης  ${}^B A_i = {}^B B_i + {}^B L_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ . Όπως παρουσιάζεται και στη παρακάτω εικόνα του κινηματικού μοντέλου του Delta Robot, ο προσανατολισμός του τελικού στοιχείου δράσης είναι παράλληλος με  ${}^B P_p = [I_3]$ , ορίζοντας έτσι τρία κέντρα σφαίρας  ${}^B A_{iv} = {}^B A_i - {}^P P_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ .

$${}^B A_{1v} = \begin{bmatrix} 0 \\ -w_B - L \cos \theta_1 + u_P \\ -L \sin \theta_1 \end{bmatrix}$$

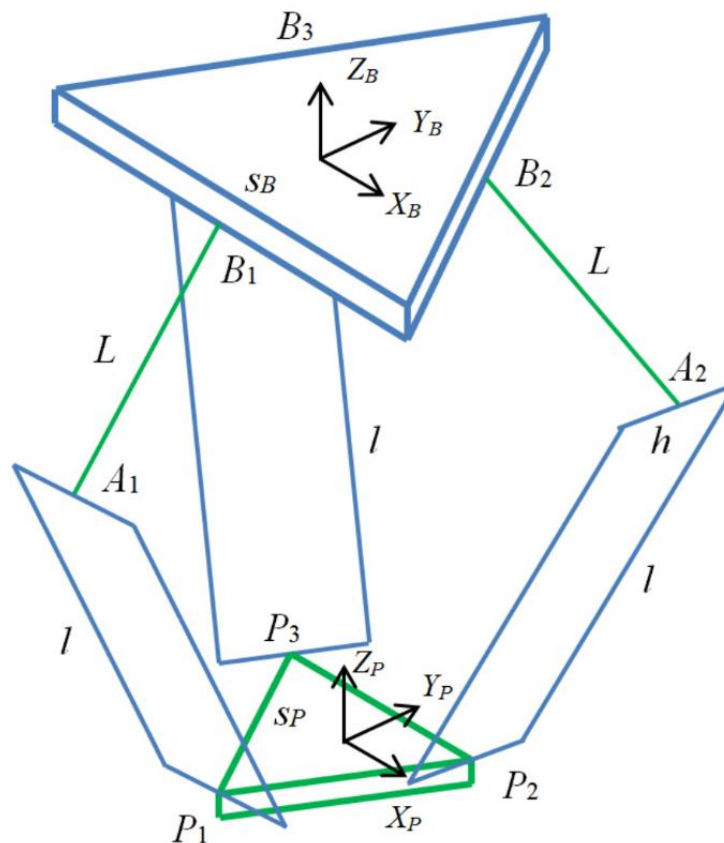
$${}^B A_{2v} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}(w_B + L \cos \theta_2) - \frac{Sp}{2} \\ \frac{1}{2}(w_B + L \cos \theta_2) - w_P \\ -L \sin \theta_2 \end{bmatrix}$$

$${}^B A_{3v} = \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2}(w_B + L \cos \theta_3) + \frac{Sp}{2} \\ \frac{1}{2}(w_B + L \cos \theta_3) - w_P \\ -L \sin \theta_3 \end{bmatrix}$$

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Οπότε η λύση του ευθύ κινηματικού προβλήματος είναι το σημείο τομής τριών γνωστών σφαιρών. Η κάθε σφαίρα ορίζεται από ένα σημειακό κέντρο  $\{c\}$ , και από μία ακτίνα  $r$ ,  $(\{c\}, r)$ . Έτσι η θέση του σημείου του τελικού στοιχείου δράσης  $\{{}^B P_P\}$  είναι η τομή των τριών παρακάτω σφαιρών:

$$(\{{}^B A_{1v}\}, l) \quad (\{{}^B A_{2v}\}, l) \quad (\{{}^B A_{3v}\}, l)$$



Εικόνα 4.2: Κινηματικό μοντέλο Delta Robot [53]



## 4.2 Αντίστροφο Κινηματικό Πρόβλημα

Το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα αφορά την εύρεση των τιμών της κάθε άρθρωσης ενός ρομποτικού συστήματος, έχοντας ως δεδομένα τη θέση και τον προσανατολισμό του στο χώρο.

Το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα για τη συγκεκριμένη μορφολογία του ρομποτικού συστήματος ορίζεται ως ο υπολογισμός των τριών περιστροφικών αρθρώσεων του Delta Robot  $\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3]^T$ , με βάση της γνωστής καρτεσιανής θέσης του σημείου του τελικού στοιχείου δράσης  ${}^B P_P = [x \ y \ z]^T$  [53].

Η λύση του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος θα υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας την αναλυτική μέθοδο. Για την αναλυτική επίλυση του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος θα χρησιμοποιηθούν εφαρμοσμένες μαθηματικές συναρτήσεις που προκύπτουν από τον εξής παρακάτω τύπο, ο οποίος εξάγεται από το κινηματικό μοντέλο:

$$E_i \cos \theta_i + F_i \sin \theta_i + G_i = 0 \quad i = 1, 2, 3$$

Όπου:

$$E_1 = 2L(y + a)$$

$$F_1 = 2zL$$

$$G_1 = x^2 + y^2 + z^2 + a^2 + L^2 + 2ya - l^2$$

$$E_2 = -L(\sqrt{3}(x + b) + y + c)$$

$$F_2 = 2zL$$

$$G_2 = x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 + 2(xb + yc) - l^2$$

$$E_3 = L(\sqrt{3}(x - b) - y - c)$$

$$F_3 = 2zL$$

$$G_3 = x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 + 2(-xb + yc) - l^2$$

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Στη συνέχεια, για την επίλυση της εξίσωσης ( $E_i \cos \theta_i + F_i \sin \theta_i + G_i = 0$ ) ορίζουμε τα εξής:

$$t_i = \tan \frac{\theta_i}{2}$$

$$\cos \theta_i = \frac{1 - t_i^2}{1 + t_i^2}$$

$$\sin \theta_i = \frac{2t_i}{1 + t_i^2}$$

Αντικαθιστώντας λοιπόν τα παραπάνω στην εξίσωση ( $E_i \cos \theta_i + F_i \sin \theta_i + G_i = 0$ ), έχουμε:

$$E_i \left( \frac{1 - t_i^2}{2 + t_i^2} \right) + F_i \left( \frac{2t_i}{2 + t_i^2} \right) + G_i = 0$$

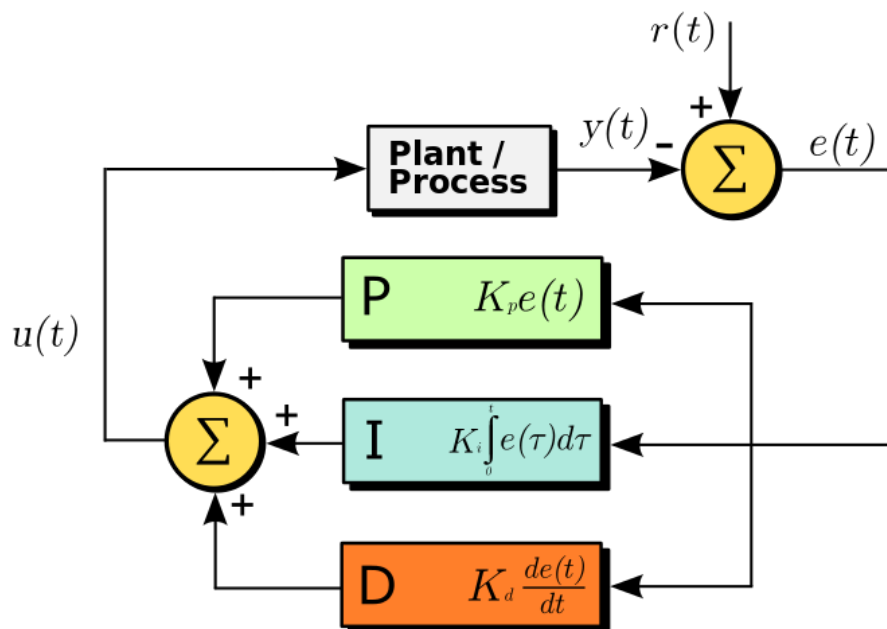
$$E_i(1 - t_i^2) + F_i(2t_i^2) + G_i(1 + t_i^2) = 0$$

$$(G_i - E_i)t_i^2 + (2F_i)t_i + (G_i + E_i) = 0$$

Τέλος, λύνοντας ως προς  $t_i$ , και στη συνέχεια αντιστρέφοντας τους παραπάνω ορισμούς, παίρνουμε τη παρακάτω εξίσωση:

$$\theta_i = 2 \tanh(t_i)$$

### 4.3 Έλεγχος - PID ελεγκτής



Εικόνα 4.3: PID Controller [54]

Ο έλεγχος της θέσης κάθε άρθρωσης του Delta Robot, αποτελεί το κυριότερο ζήτημα ελέγχου. Έτσι είναι αναγκαία η χρήση ενός συστήματος ελέγχου, ούτως ώστε να δέχεται την απαραίτητη πληροφορία από τα εκάστοτε αισθητήρια, και με βάση την μέτρηση που θα λαμβάνει, αλλά και με τη χρήση μαθηματικών εξισώσεων να οδηγεί τους ηλεκτρικούς κινητήρες στην επιθυμητή για κάθε κινητήρα ξεχωριστά θέση αναφοράς με τη βέλτιστη δυνατή ταχύτητα εκτέλεσης, και με το μικρότερο δυνατό σφάλμα. Το πιο κοινό, αλλά και πιο γνωστό σύστημα ελέγχου που χρησιμοποιείται κατά κόρον σε τέτοιου είδους εφαρμογές, είναι ο PID ελεγκτής.

Ο PID ελεγκτής ο οποίος είναι τα αρχικά των λέξεων proportional, integral και derivative, που μεταφράζεται ως αναλογικός-ολοκληρωτικός-διαφορικός ελεγκτής, είναι ένας σύνδεσμος βρόγχων ελέγχου ανατροφοδότησης που η κύρια χρήση του επικεντρώνεται σε βιομηχανικές εφαρμογές αυτομάτου ελέγχου.

Οι PID ελεγκτές χρησιμοποιούνται ούτως ώστε να μηδενίσουν το σφάλμα μεταξύ μιας επιθυμητής και μιας μετρούμενης μεταβλητής, κάνοντας τους κατάλληλους υπολογισμούς και ενεργώντας ανάλογα έτσι ώστε να επιτευχθεί η σωστή ρύθμιση της εκτελούμενης διεργασίας.

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Για τη σωστή ρύθμιση και τον υπολογισμό ενός PID ελεγκτή, χρειάζεται να ορίσουμε τρεις διαφορετικούς παραμέτρους, τον αναλογικό τον ολοκληρωτικό και τον διαφορικό όρο. Ο πρώτος όρος, ο αναλογικός, διαμορφώνει το πως θα αντιδράσει το σύστημα στο σφάλμα της παρούσας μέτρησης, ο δεύτερος όρος ο ολοκληρωτικός, διαμορφώνει το πως θα αντιδράσει το σύστημα σε σχέση με το σύνολο των πρόσφατων σφαλμάτων, και τέλος ο τρίτος όρος, ο διαφορικός, διαμορφώνει το πως θα αντιδράσει το σύστημα σε σχέση με το πόσο μεταβλήθηκε η τιμή του σφάλματος.

Η συνολική τιμή και των τριών παραπάνω όρων ρυθμίζει μέσω ενός στοιχείου ελέγχου τη διεργασία, όπως για παράδειγμα η ταχύτητα ενός ηλεκτροκινητήρα ελέγχεται από τη τάση που εφαρμόζεται στον κινητήρα. Καθορίζοντας τα κατάλληλα κέρδη και για τους τρεις όρους του PID ελεγκτή, είναι εφικτό ο PID να αντιδρά με βάση τις σχεδιασμένες απαιτήσεις που έχουν οριστεί για κάθε διαφορετική διεργασία.

Το κατά πόσο ο ελεγκτής είναι αποδοτικός καθορίζεται από το πώς ανταποκρίνεται σε παρουσία σφάλματος στο σύστημα, με λίγα λόγια με την υπερύψωση που εισάγετε στο σύστημα. Χρησιμοποιώντας τον PID ελεγκτή δεν είναι σίγουρο ότι θα επιτευχθεί ο βέλτιστος έλεγχος του συστήματός μας, όμως ο αλγόριθμος του PID είναι αρκετός έτσι ώστε να επιτευχθεί η εκτέλεση της διεργασίας με αρκετά μεγάλη ακρίβεια.

Υπάρχουν εφαρμογές όπου δεν είναι αναγκαία η ρύθμιση και των τριών κερδών, καθώς για τον κατάλληλο έλεγχο του συστήματος επαρκούν μόνο ένα ή και δύο κέρδη, ενώ τα κέρδη που δεν χρησιμοποιούνται παίρνουν αυτομάτως τη τιμή μηδέν. Έτσι ο PID ελεγκτής ανάλογα με το ποιους όρους δεν χρησιμοποιεί ονομάζεται είτε P, I, PI, ή PD, δεδομένου των κερδών που χρησιμοποιούνται.

Η συνολική συνεισφορά της εξόδου του PID ορίζεται από το άθροισμα των τριών όρων διόρθωσης του σφάλματος, την οποία ονομάζουμε MV. Η μαθηματική διατύπωση της εξόδου του PID ορίζεται από τον παρακάτω τύπο, καθώς το  $P_{out}$ , το  $I_{out}$ , και το  $D_{out}$  είναι οι συνεισφορές εξόδου του καθενός όρου του PID ελεγκτή.

$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out}$$

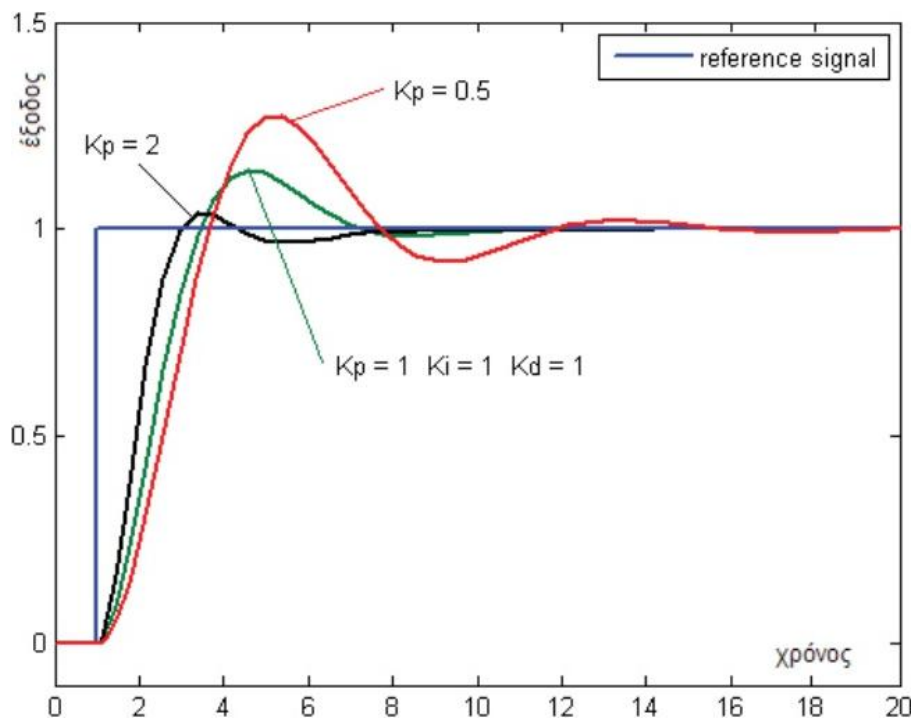
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Η έξοδος του αναλογικού P όρου του PID είναι ανάλογη του σφάλματος, καθώς το πόσο επιδρά στο σύστημα ρυθμίζεται άμεσα από το αναλογικό κέρδος  $K_p$ , το οποίο πολλαπλασιάζεται με το σφάλμα. Η έξοδος του αναλογικού όρου δίνεται από τη παρακάτω σχέση, όπου  $P_{out}$  η έξοδος,  $K_p$  το αναλογικό κέρδος, και  $e$  το σφάλμα.

$$P_{out} = K_p e(t)$$

Η αρκετά μεγάλη συνεισφορά της αναλογικής εξόδου, συνεπάγεται σε μεγάλη και απότομη αλλαγή της εξόδου του συστήματος σε κάθε αλλαγή του σφάλματος, καθώς το σύστημα μπορεί να οδηγηθεί και σε αστάθεια.

Όμως η μικρή συνεισφορά της αναλογικής εξόδου, συνεπάγεται σε μικρή αλλαγή της εξόδου του συστήματος σε κάθε αλλαγή του σφάλματος, καθώς επίσης η ευαισθησία του ελεγκτή μειώνεται.



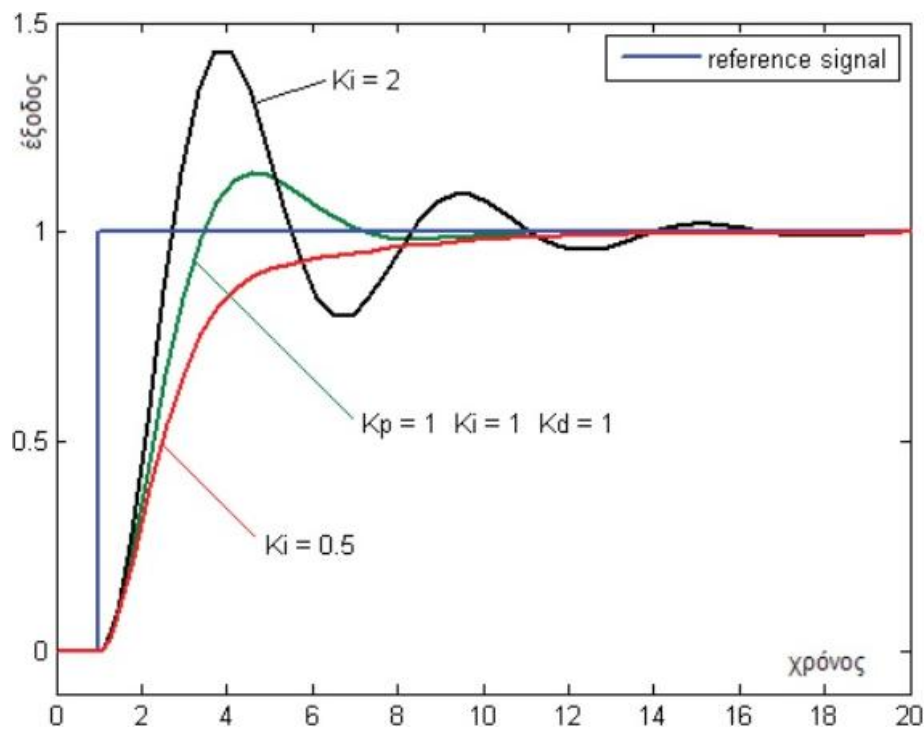
Εικόνα 4.4: Αλλαγή της απόκρισης για διάφορες τιμές του κέρδους  $K_p$  [54]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Η έξοδος του ολοκληρωτικού I όρου του PID είναι ανάλογη του συσσωρευμένου σφάλματος, καθώς το πόσο επιδρά στο σύστημα ρυθμίζεται άμεσα από το ολοκληρωτικό κέρδος  $K_i$ , το οποίο πολλαπλασιάζεται με το συσσωρευμένο σφάλμα. Η έξοδος του αναλογικού όρου δίνεται από τη παρακάτω σχέση, όπου  $I_{out}$  η έξοδος,  $K_i$  το ολοκληρωτικό κέρδος, και  $e$  το σφάλμα.

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

Ο I όρος οδηγεί αρκετά πιο γρήγορα την έξοδο του συστήματος στην επιθυμητή κατάσταση, μηδενίζοντας επίσης το σφάλμα κατάστασης. Όμως λόγω του συσσωρευμένου σφάλματος, μια μεγάλη τιμή του κέρδους μπορεί να οδηγήσει την έξοδο του συστήματος σε υπερύψωση. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα θα ξεπεράσει την επιθυμητή κατάσταση, δημιουργώντας έτσι μία απόκλιση του συστήματος.



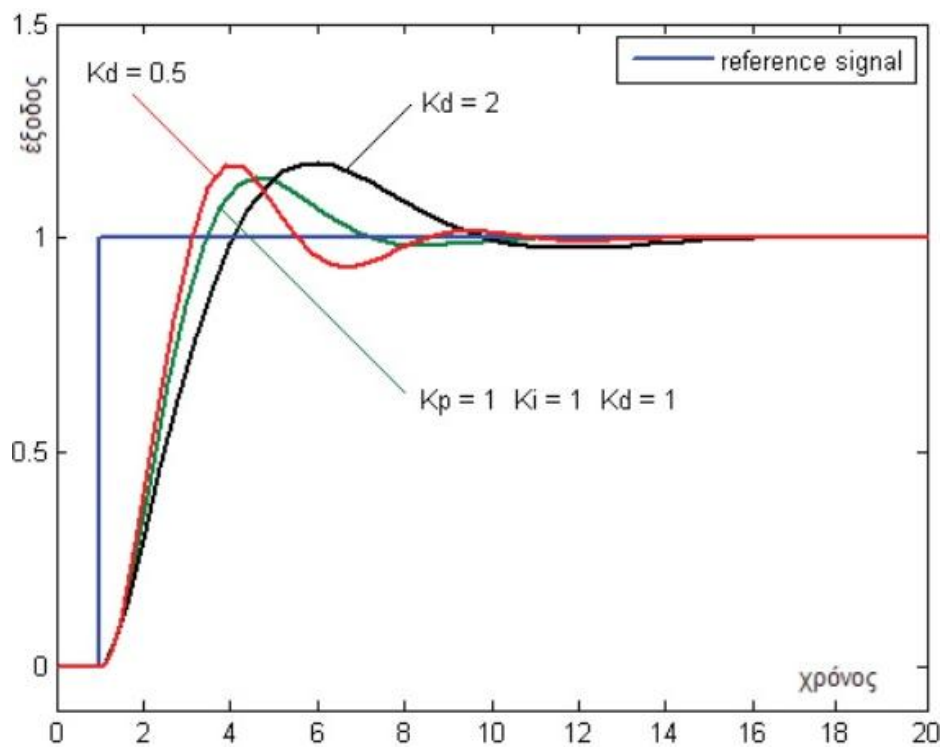
Εικόνα 4.5: Αλλαγή της απόκρισης για διάφορες τιμές του κέρδους  $K_i$  [54]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Η έξοδος του διαφορικού D όρου του PID είναι ανάλογη της κλίσης του σφάλματος, καθώς το πόσο επιδρά στο σύστημα ρυθμίζεται άμεσα από το διαφορικό κέρδος  $K_d$ , το οποίο πολλαπλασιάζεται με τη κλίση του σφάλματος. Η έξοδος του διαφορικού όρου δίνεται από τη παρακάτω σχέση, όπου  $D_{out}$  η έξοδος,  $K_d$  το διαφορικό κέρδος, και  $e$  το σφάλμα.

$$D_{out} = K_d \frac{de}{dt}$$

Ο D όρος μειώνει την απότομη μεταβολή της εξόδου του συστήματος. Για το λόγω αυτό ο D όρος χρησιμοποιείται για να μειώσει τις τυχόν υπερψώσεις του συστήματος, καθώς επίσης αναβαθμίζει το συνδυασμό της σταθερότητας ανάμεσα στον PID ελεγκτή και της συνολικής διαδικασίας του ελέγχου του συστήματος.



Εικόνα 4.6: Αλλαγή της απόκρισης για διάφορες τιμές του κέρδους  $K_d$  [54]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Το άθροισμα του αναλογικού, του ολοκληρωτικού και του διαφορικού όρου ορίζεται ως η έξοδος του PID ελεγκτή. Ορίζοντας ως MV την ολοκληρωμένη συνολική έξοδο του PID ελεγκτή, η εξίσωση που τον ορίζει είναι η εξής:

$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}$$

Τα κέρδη του PID ελεγκτή τα οποία ορίζονται και ως παράμετροι συντονισμού είναι τα εξής:

**1)** Το αναλογικό κέρδος  $K_p$ , ή και αναλογική ενίσχυση. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του κέρδους  $K_p$ , τόσο ταχύτερη απόκριση έχει το σύστημά μας, καθώς όσο αυξάνεται η τιμή του σφάλματος τόσο αυξάνεται και η αναλογική έξοδος του PID ελεγκτή. Επίσης μια αρκετά υψηλή τιμή του κέρδους  $K_p$  μπορεί να οδηγήσει σε αστάθεια του συστήματος.

**2)** Το ολοκληρωτικό κέρδος  $K_i$ , ή και ολοκληρωτική ενίσχυση. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του κέρδους  $K_i$ , τόσο πιο γρήγορα το σφάλμα της τελικής κατάστασης μηδενίζεται, καθώς ενδέχεται να υπάρξουν φαινόμενα υπερύψωσης στο σύστημα.

**3)** Το διαφορικό κέρδος  $K_d$ , ή και διαφορική ενίσχυση. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του κέρδους  $K_d$  τόσο μειώνεται και η υπερύψωση του συστήματος, καθώς όμως μπορεί να οδηγήσει το σύστημα σε αστάθεια.



## 4.4 Εύρεση Κερδών του PID Ελεγκτή

Για το συντονισμό και την επιλογή των κερδών ενός PID ελεγκτή υπάρχουν αρκετές μέθοδοι. Αρχικά υπάρχουν οι χειρωνακτικοί μέθοδοι, οι οποίες βασίζονται καθαυτού στην εμπειρία του χειριστή της διεργασίας. Όμως τέτοιου είδους μέθοδοι καθίσταται ανεπαρκείς για τη βέλτιστη και σωστή λειτουργία του συστήματος.

Οι πιο αποτελεσματικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επιλογή των κατάλληλων κερδών ενός PID ελεγκτή εμπεριέχουν κάποια συγκεκριμένη αλληλουχία πρότυπων διαδικασιών, με τις οποίες επιτυγχάνονται οι βέλτιστες επιλογές των τριών όρων του PID ελεγκτή.

Η πιο γνωστή μέθοδος, αλλά επίσης και η πιο διαδεδομένη, είναι η μέθοδος Ziegler-Nichols, η οποία εισάχθηκε στη θεωρία του αυτομάτου ελέγχου από τον John G. Ziegler, και τον Nathaniel B. Nichols.

Η αρχή λειτουργίας της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ως εξής, αρχικά και τα τρία κέρδη του PID ελεγκτή P I και D, παίρνουν τη τιμή μηδέν. Στη συνέχεια το κέρδος P αυξάνεται σταδιακά μέχρι να αρχίσει το σύστημα να ταλαντώνεται. Τότε η τιμή του κέρδους P ορίζεται ως κρίσιμο κέρδος  $K_c$ . Τέλος η τιμή του κρίσιμου κέρδους  $K_c$  και η περίοδος της ταλάντωσης  $P_c$ , χρησιμοποιούνται για την εύρεση των κερδών με βάση τον τύπο του ελεγκτή που θα χρησιμοποιήσουμε με βάση τον παρακάτω πίνακα [54] [55].

<b>Μέθοδος Ziegler-Nichols</b>			
<b>Τύπος Ελέγχου</b>	$K_p$	$K_i$	$K_d$
<b>P</b>	$0.5 * K_c$	-	-
<b>PI</b>	$0.45 * K_c$	$1.2K_p / P_c$	-
<b>PID</b>	$0.6 * K_c$	$2K_p / P_c$	$K_p P_c / 8$

Πίνακας 4.1: Κέρδη συντονισμού PID Ziegler-Nichols [53]

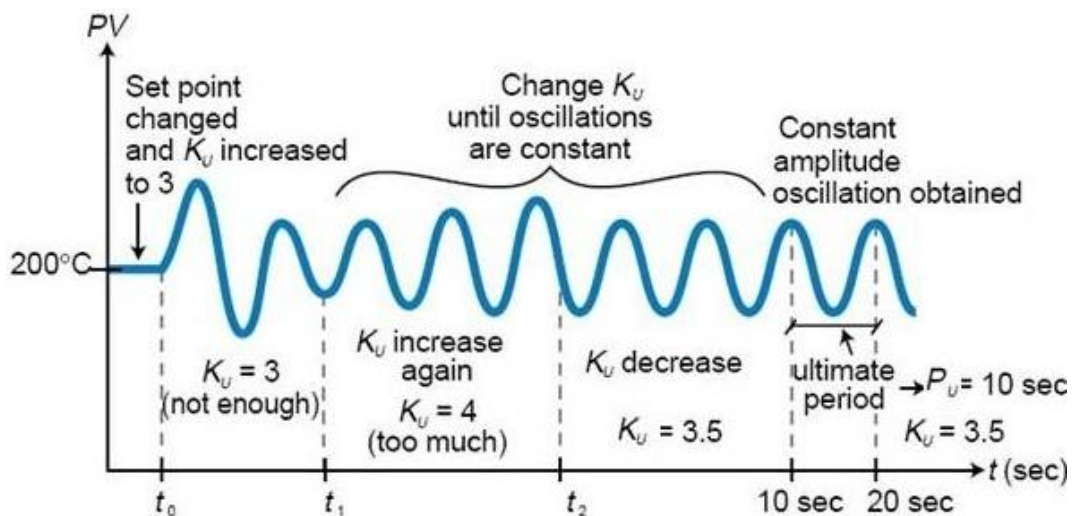
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Για την υλοποίηση του ελέγχου των ενεργοποιητών του συστήματος υλοποιήθηκε ένα πρόγραμμα εξαγωγής των τιμών του κρίσιμου κέρδους  $K_C$ , και της ταλάντωσης  $P_C$ .

Αρχικά η τιμή του κρίσιμου κέρδους  $K_C$  του κάθε ενεργοποιητή ξεχωριστά και εκτός συστήματος τέθηκε ίση με 0, και με σταθερό ρυθμό η τιμή του αυξανόταν μέχρι ο άξονας του ενεργοποιητή να ξεκινήσει μία εμφανής και σταθερή ταλάντωση.

Έχοντας βρει τη τιμή του κρίσιμου κέρδους  $K_C$ , στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τις τιμές του μέγιστου πλάτους ταλάντωσης του κάθε ενεργοποιητή, και υπολογίζοντας το χρόνο που έχει περάσει μεταξύ δύο τέτοιων τιμών, γίνεται η εξαγωγή της τιμής της ταλάντωσης  $P_C$ .

Έχοντας λοιπόν και τις δύο τιμές  $K_C$  και  $P_C$  για κάθε ενεργοποιητή ξεχωριστά, και χρησιμοποιώντας τον παραπάνω πίνακα εξαγωγής των κερδών Ziegler-Nichols, βρέθηκαν τα τρία κέρδη των PID ελεγκτών των ενεργοποιητών.



Εικόνα 4.7: Υπολογισμός των τιμών  $K_C$  και  $P_C$  [53]

## **4.5 Όραση**

Η μηχανική όραση, είναι ένα επιστημονικό πεδίο της τεχνολογίας των υπολογιστών, το οποίο προσπαθεί να αναπαράγει την αίσθηση της όρασης. Ο κύριος σκοπός της μηχανικής όρασης είναι η δημιουργία ψηφιακών συστημάτων, τα οποία λαμβάνουν και στη συνέχεια αναλύουν δεδομένα, τα οποία εξάγονται από ψηφιακές εικόνες. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε μία εφαρμογή μηχανικής όρασης μπορεί να είναι είτε φωτογραφίες, είτε βίντεο.

Η μηχανική όραση στοχεύει στη δημιουργία συστημάτων, στα οποία θα τους παρέχεται η δυνατότητα της αισθήσεως της όρασης, χρησιμοποιώντας θεωρητικά μοντέλα. Τέτοια παραδείγματα συστημάτων που εφαρμόζουν τεχνικές μηχανικής όρασης είναι τα εξής παρακάτω:

- 1)** Συστήματα ελέγχου διαδικασιών, όπως για παράδειγμα σε ένα αυτόνομο όχημα.
  
- 2)** Συστήματα ανίχνευσης συμβάντων, όπως για παράδειγμα η οπτική επιτήρηση.
  
- 3)** Συστήματα οργάνωσης πληροφοριών, όπως για παράδειγμα η ευρετηριοποίηση βάσεων δεδομένων.
  
- 4)** Συστήματα εξομίωσης αντικειμένων και περιβαλλόντων, όπως για παράδειγμα η ιατρική ανάλυση εικόνας.
  
- 5)** Συστήματα αλληλεπίδρασης χρηστών με υπολογιστικά συστήματα, όπως για παράδειγμα η είσοδος σε μια συσκευή επικοινωνίας.

Κύρια πηγή μελέτης για τη δημιουργία συστημάτων μηχανικής όρασης, τα οποία υλοποιούνται σε μορφή λογισμικού, ή και σε μορφή υλικού ηλεκτρονικών υπολογιστών, είναι η βιολογική όραση. Η βιολογική όραση συναντάτε σε όλους του ζωντανούς οργανισμούς, είτε αυτοί είναι άνθρωποι, είτε είναι ζώα, καθώς γίνεται η προσπάθεια εξαγωγής μοντέλων της λειτουργίας τέτοιων βιολογικών συστημάτων, για τη χρήση και την ενσωμάτωσή τους σε τεχνητά συστήματα.

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Η χρήση και η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ της βιολογικής και της τεχνητής όρασης έχει αποφέρει αρκετά χρήσιμα αποτελέσματα και στους δύο επιστημονικούς κλάδους, καθώς προς το παρόν η μηχανική όραση μπορεί να οριοθετηθεί μόνο ως συμπλήρωμα της βιολογικής όρασης.

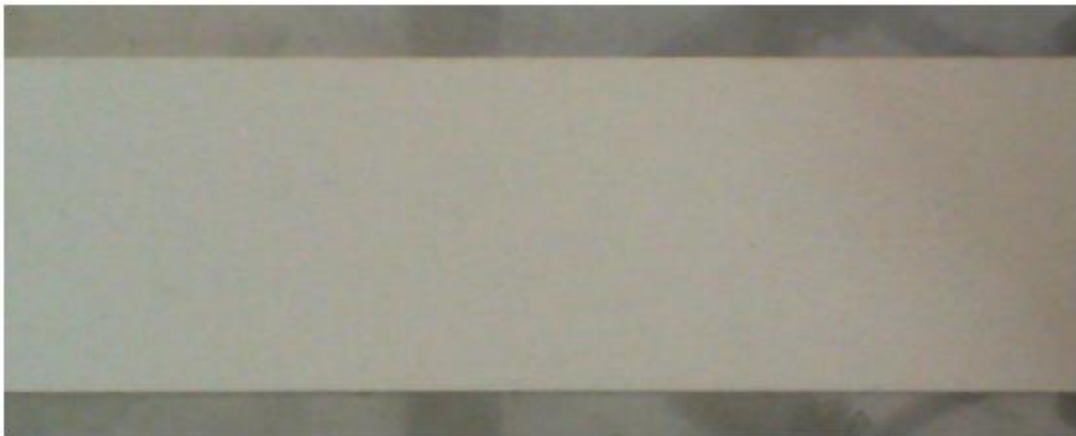
Η ψηφιακή φωτογραφική μηχανή είναι μία συσκευή η οποία παρέχει τη δυνατότητα καταγραφής και αποθήκευσης εικόνων σε ψηφιακή μορφή με τη χρήση ηλεκτρονικών διαδικασιών, ενώ η συμβατική φωτογραφική μηχανή καταγράφει και αποθηκεύει εικόνες με τη χρήση μηχανικών και χημικών διαδικασιών. Η πλειοψηφία των ψηφιακών ηλεκτρονικών μηχανών παρέχουν πέρα από τη δυνατότητα λήψης φωτογραφιών, τη δυνατότητα καταγραφής ήχου και βίντεο.

Κάθε φωτογραφική μηχανή, η οποία είναι είτε ψηφιακή είτε συμβατική, εξαρτάται όσο αναφορά την επίδοσή της, από τις οπτικές ιδιότητες του φακού που χρησιμοποιεί, καθώς ο φακός παίζει καθοριστικό ρόλο στην ευκρίνεια της τελικής εικόνας, όπως και επίσης στις φωτογραφικές δυνατότητες της μηχανής. Όσο αναφορά την ψηφιακή μηχανή, ο κύριος σκοπός του φακού είναι η συγκέντρωση του εξωτερικού φωτός πάνω στον αισθητήρα της μηχανής, ο οποίος στη συνέχεια αναλαμβάνει τη μετατροπή του φωτός σε ηλεκτρικό σήμα. Ο συνδυασμός του διαφράγματος και του κλείστρου, καθορίζει τη ποσότητα του φωτός που θα εισαχθεί στον αισθητήρα. Οι αισθητήρες που μετατρέπουν το φως που προσπίπτει στην επιφάνεια τους σε ηλεκτρικό σήμα είναι δυο ειδών, είναι οι αισθητήρες CCD, και οι αισθητήρες CMOS.

Το κυριότερο τεχνικό χαρακτηριστικό που καθορίζει τη ποιότητα ενός αισθητήρα μιας κάμερας, είναι ο αριθμός των υπό-αισθητηρίων που απαρτίζουν την επιφάνεια του, δηλαδή στην ουσία ο αριθμός των pixel, καθώς υπάρχουν διαφόρων μεγεθών αισθητήρες που κυμαίνονται στις τιμές των mega pixel. Όμως η ποιότητα της παραγόμενης εικόνας δεν επηρεάζεται μόνο από τον αριθμό των pixel, καθώς ο φακός, ο θόρυβος του αισθητήρα, και η επεξεργασία που υποβάλλεται η εικόνα πριν τη τελική αποθήκευσή της, συμβάλουν επίσης στη τελική ποιότητα [56] [57].

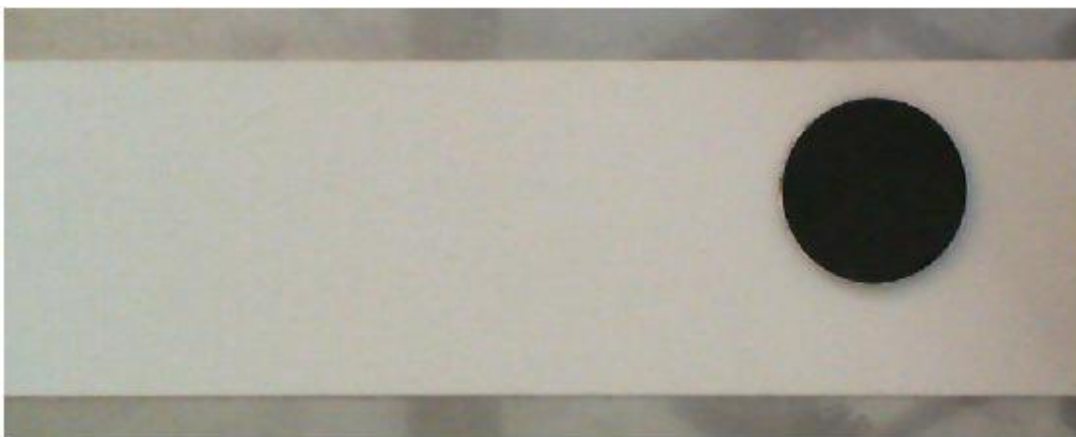
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Για την υλοποίηση του υποσυστήματος της όρασης, πρωταρχικό βήμα είναι η σωστή τοποθέτηση του αισθητηρίου στο χώρο εργασίας του συστήματος. Η τοποθέτηση του αισθητήρα είναι κύριας σημασίας, καθώς θα πρέπει να τοποθετηθεί σε κατάλληλο ύψος από την επιφάνεια που βρίσκεται το αντικείμενο που πρόκειται να αλληλοεπιδράσει με το τελικό στοιχείο δράσης του συστήματος, ούτως ώστε σε οποιαδήποτε τυχαία θέση και να τοποθετηθεί, να είναι πλήρως ορατό από τον αισθητήρα της όρασης. Επίσης είναι αναγκαίο να τοποθετηθεί σε τέτοια απόσταση από το εργαλείο τελικής δράσης, όπου αν όχι όλο, αλλά αρκετό μέρος της εξαγόμενης εικόνας να βρίσκεται μέσα στο χώρο εργασίας του συστήματος.



Εικόνα 4.8: Τελική εικόνα ύστερα από τη τοποθέτηση του αισθητήρα

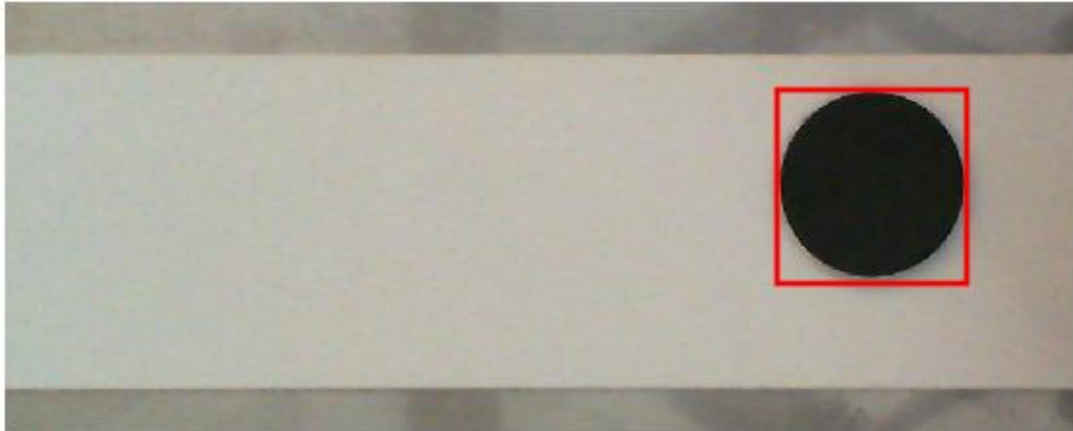
Τα αντικείμενα που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα εργασία λόγω της μορφολογίας του συστήματος, το οποίο συνεπάγεται στην έλλειψη επιλογής προσανατολισμού του αντικειμένου, έχουν αναγκαστικά κυκλικό σχήμα. Ο χειριστής αρχικά τοποθετεί το αντικείμενο σε μία τυχαία θέση εντός της μεταφορικής ταινίας, και στη συνέχεια όταν το αντικείμενο εισέρθει εντός της εμβέλειας του οπτικού αισθητήρα, το σύστημα αναγνωρίζει το αντικείμενο.



Εικόνα 4.9: Το αντικείμενο βρίσκεται εντός της εμβέλειας του αισθητήρα

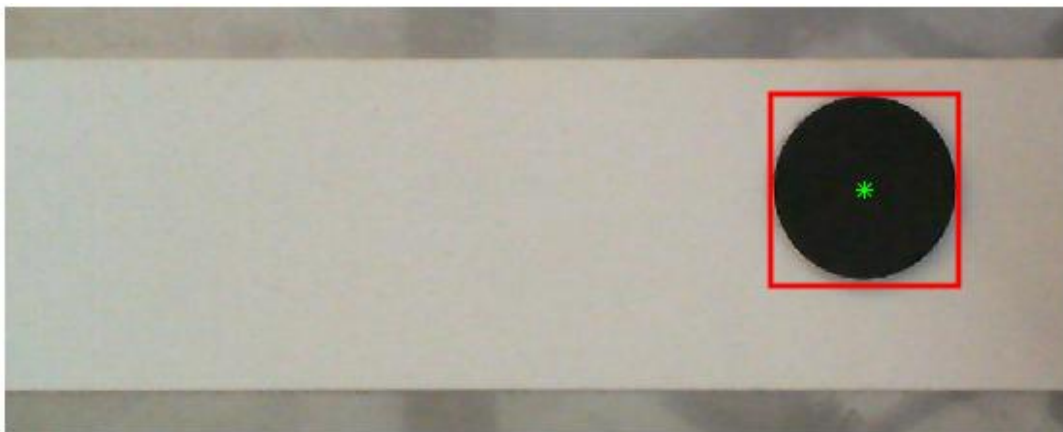
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Αφού το αντικείμενο εισέρθει εντός της εμβέλειας του οπτικού αισθητήρα, το πρώτο βήμα που αναλαμβάνει το υποσύστημα της όρασης είναι η εύρεση του αντικειμένου, καθώς είναι ίσως το πιο σημαντικό στάδιο. Για την αναγνώριση του αντικειμένου χρειάζεται να επιτευχθεί η εύρεση της περιοχής στην οποία βρίσκεται το αντικείμενο, καθώς στη συνέχεια οριοθετώντας τη συγκεκριμένη περιοχή ολοκληρώνεται η εύρεση του αντικειμένου το οποίο βρίσκεται εντός της μεταφορικής ταινίας. Χρησιμοποιώντας την εξαγόμενη grayscale εικόνα, και έχοντας ορίσει το επιθυμητό κατώφλι, υλοποιείται η εύρεση του αντικειμένου της εικόνας.



Εικόνα 4.10: Εύρεση του αντικειμένου

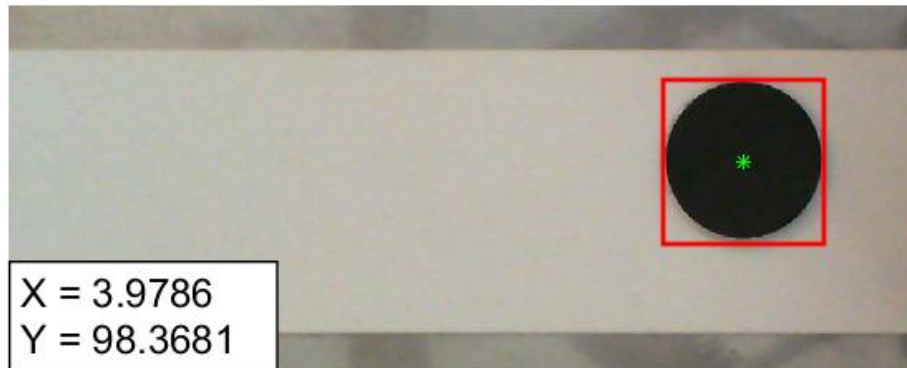
Έχοντας ολοκληρώσει την εύρεση του εντός εμβέλειας αντικειμένου, επόμενο βήμα είναι η εύρεση του κέντρου του. Η εύρεση του σημειακού κέντρου του αντικειμένου είναι μία απαραίτητη διεργασία, καθώς για την αλληλεπίδραση και την αρπαγή του αντικειμένου από το ρομποτικό σύστημα απαιτείται ένα σημείο αναφοράς. Γνωρίζοντας από το προηγούμενο βήμα τη περιοχή που βρίσκεται το αντικείμενο, καθώς και τις διαστάσεις της, η εύρεση του κέντρου της περιοχής αυτής υλοποιείται αθροίζοντας κατακόρυφα και οριζόντια το μισό της ανάλογης πλευράς της περιοχής του αντικειμένου.



Εικόνα 4.11: Εύρεση του κέντρου του αντικειμένου

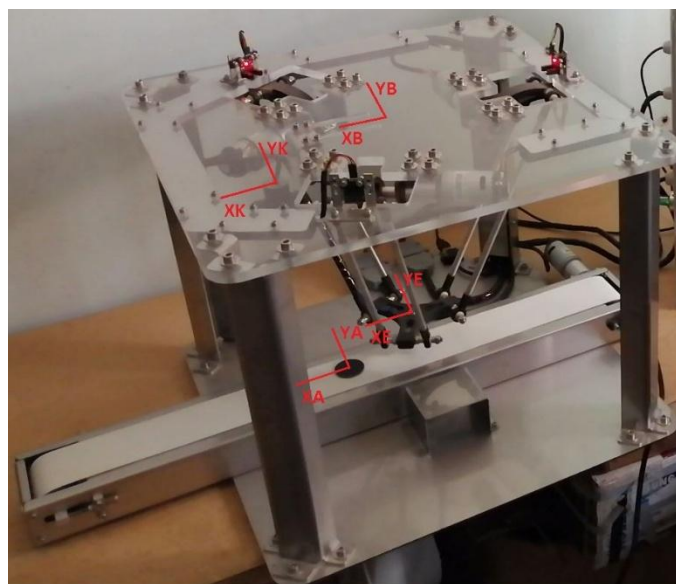
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Τέλος, αφού στα προηγούμενα δύο βήματα ολοκληρώθηκε η εύρεση της περιοχής του αντικειμένου, και στη συνέχεια η εύρεση του κέντρου του, επόμενο και τελευταίο βήμα για την ολοκλήρωση της διεργασίας του υποσυστήματος της όρασης είναι η εύρεση των καρτεσιανών συντεταγμένων του κέντρου του αντικειμένου. Η εύρεση των τιμών αυτών είναι απαραίτητη, διότι οι καρτεσιανές συντεταγμένες προσδιορίζουν το σημείο στο χώρο εργασίας του ρομποτικού συστήματος που θέλουμε η αρπάγη να προσεγγίσει, ούτως ώστε να αλληλοεπιδράσει με το επιθυμητό αντικείμενο.



Εικόνα 4.12: Εύρεση των καρτεσιανών συντεταγμένων του κέντρου του αντικειμένου

Για την εξαγωγή των καρτεσιανών συντεταγμένων του κέντρου του αντικειμένου γνωρίζουμε αρχικά τη θέση του σημείου τελικής δράσης και του αισθητηρίου της όρασης ως προς τη βάση του συστήματος που προκύπτει από το κινηματικό μοντέλο, καθώς αυτό που λείπει είναι η θέση του αντικειμένου ως προς τη βάση. Έτσι τοποθετώντας το αντικείμενο σε μία θέση της οποίας η απόσταση είναι γνωστή από τη βάση του συστήματος, εξάγουμε τη πληροφορία της απόστασης της εικόνας σε σχέση με το πραγματικό χώρο.



Εικόνα 4.13: Μετάβαση Συντεταγμένων

## **Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής**

Ως αισθητήριο όρασης χρησιμοποιήθηκε μία web camera με ανάλυση 720p, η οποία συνδέεται μέσω μίας usb θήρας σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Ο κώδικας που δημιουργήθηκε και τρέχει για το υποσύστημα της μηχανικής όρασης, υλοποιήθηκε στη γλώσσα υπολογιστή Matlab.

Αφού το πρόγραμμα της μηχανικής όρασης ολοκληρώσει τη λειτουργία του και οι καρτεσιανές συντεταγμένες του αντικειμένου το οποίο βρίσκεται πάνω στη μεταφορική ταινία, και μέσα στο χώρο εργασίας του ρομποτικού συστήματος, έχουν βρεθεί, το επόμενο βήμα είναι η αποστολή των συντεταγμένων αυτών μέσω σειριακής επικοινωνίας στον μικροελεγκτή, ούτως ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία συλλογής του αντικειμένου.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Υλοποίηση Controller

Για να μπορέσει το ρομποτικό σύστημα να λειτουργήσει είναι αναγκαίο, όπως έχει προαναφερθεί και στο πρώτο κεφάλαιο, να υλοποιηθεί ο κατάλληλος Controller για τη σωστή λειτουργία του συστήματος, καθώς ο Controller λειτουργεί στην ουσία ως ο εγκέφαλος του συστήματος.

Ο κύριος σκοπός του Controller είναι να τροφοδοτήσει κατάλληλα μέσω καλωδίων τους ενεργοποιητές, τα αισθητήρια, και το εργαλείο τελικής δράσης, να λάβει τις τιμές των αισθητηρίων, και με τις κατάλληλες εντολές να οδηγήσει τους ενεργοποιητές του συστήματος, έτσι ώστε να εκτελεστεί η επιθυμητή εργασία.

Αφού λοιπόν σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε το σύστημα, και έχοντας πλέον όλες τις χρήσιμες τεχνικές πληροφορίες όσο αναφορά τους ενεργοποιητές, τα αισθητήρια, και το εργαλείο τελικής δράσης, επιλέχθηκαν τα εξής κατάλληλα υλικά για την υλοποίηση του Controller:

- 1) Ένας πλαστικός βιομηχανικού τύπου πίνακας.
- 2) Δύο τροφοδοτικά DC τάσης.
- 3) Ένας μικροελεγκτής Arduino.
- 4) Τέσσερις ελεγκτές για DC ηλεκτροκινητήρες.

## 5.1 Υλικά του Controller

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του Controller του συστήματος είναι τα εξής παρακάτω:

**1)** Ένας πλαστικός βιομηχανικού τύπου πίνακας κατάλληλων διαστάσεων για την εφαρμογή, ούτως ώστε το εσωτερικό του να είναι αρκετά ευρύχωρο. Η επιλογή του μεγέθους εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος και τον όγκο των υλικών που χρειάζεται να ενσωματώσουμε στο εσωτερικό του για την υλοποίηση του Controller.

Επίσης ως υλικό του πίνακα επιλέχθηκε το πλαστικό, λόγω της ευκολίας που παρέχει στη διάνοιξη οπών για την εξωτερική ενσωμάτωση θυρών και διακοπών ελέγχου, καθώς επίσης και η διαφανής πόρτα βοηθά στην γρήγορη εποπτεία της κατάστασης των εσωτερικών του υποσυστημάτων. Με βάση όλα τα παραπάνω η επιλογή του συγκεκριμένου πίνακα βοήθησε στις ταχεία και εύκολη υλοποίηση του Controller.



Εικόνα 5.1: Πλαστικός βιομηχανικός πίνακας [58]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

2) Δύο τροφοδοτικά, τα οποία είναι στην ουσία μία ηλεκτρονική συσκευή, είτε εσωτερική, είτε εξωτερική, που αναλαμβάνει τη μετατροπή της τάσης του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, στη δικιά μας περίπτωση τα 220 Volt AC της ΔΕΗ, στην επιθυμητή τάση, και σε συνεχές ή εναλλασσόμενο τύπο ρεύματος, το οποίο χρειάζεται για την ορθή λειτουργία της μια ηλεκτρονική συσκευή.

Συνήθως για της περισσότερες ηλεκτρονικές συσκευές απαιτείται συνεχής τάση, καθώς επίσης τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας παρέχουν εναλλασσόμενη τάση. Έτσι οι περισσότερες ηλεκτρονικές συσκευές έχουν ενσωματωμένη μια ηλεκτρονική διάταξη, που αναλαμβάνει τη συγκεκριμένη μετατροπή σε τάση και ρεύμα, η οποία ονομάζεται τροφοδοτικό. Στις περιπτώσεις ηλεκτρονικών συσκευών που δεν παρέχεται ενσωματωμένη διάταξη μετατροπής, υπάρχουν εξωτερικά τροφοδοτικά για οποιοδήποτε τιμή και τύπο τάσης και ρεύματος, για τη συγκεκριμένη ηλεκτρονική συσκευή.

Ένα τροφοδοτικό αποτελείται από τα εξής παρακάτω τέσσερα βασικά για τη λειτουργία του εξαρτήματα:

- 1) Ο μετασχηματιστής αναλαμβάνει να ανυψώσει ή να υποβιβάσει την AC τάση που παρέχεται από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με τη τιμή της επιθυμητής DC τάσης.
- 2) Ο ανορθωτής εξαλείφει τις αρνητικές τιμές της ημιπεριόδου της AC τάσης.
- 3) Το φίλτρο αναλαμβάνει να εξομαλύνει τις κυματώσεις της ανορθωμένης τάσης.
- 4) Ο σταθεροποιητής αναλαμβάνει να διατηρείσει τη DC τάση σταθερή, ανεξάρτητα από την αντίσταση της τροφοδοτούμενης βαθμίδας [59].



Εικόνα 5.2: Τροφοδοτικό 5Volt-2.4 Ampere [51]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά τροφοδοτικά, τα οποία μετατρέπουν τα 220 Volt AC του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ, σε κατάλληλη DC τάση για την τροφοδοσία των ηλεκτρονικών συσκευών του Controller.

Το πρώτο τροφοδοτικό μετατρέπει τα 220 Volt AC σε 12 Volt DC, με μέγιστη ένταση τα 33 Ampere για τη τροφοδοσία των ενεργοποιητών, των αντίστοιχων drivers, και του εργαλείου τελικής δράσης.

Το δεύτερο τροφοδοτικό μετατρέπει τα 220 Volt AC σε 5 Volt DC, με μέγιστη ένταση τα 2.4 Ampere για τη τροφοδοσία του μικροελεγκτή, και των αισθητηρίων του συστήματος.



Εικόνα 5.3: Τροφοδοτικό 12Volt-33 Ampere [58]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

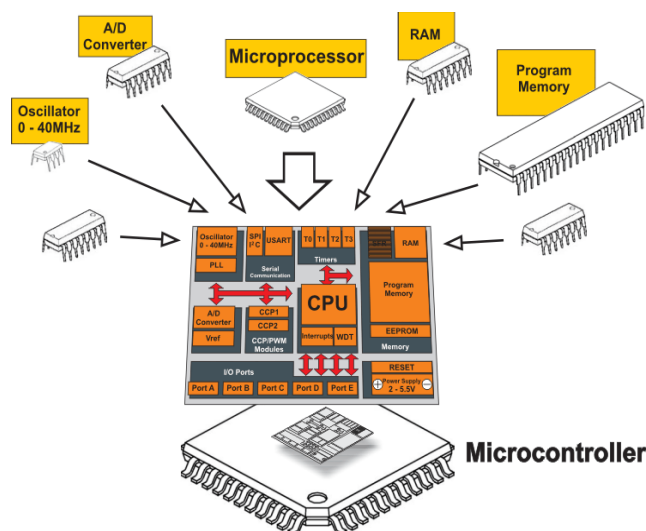
3) Έναν μικροελεγκτή τύπου Arduino Mega 2560, ο οποίος αναλαμβάνει όλους τους υπολογισμούς που χρειάζονται για τη σωστή λειτουργία του συστήματος, αλλά και του Controller.

Ένας μικροελεγκτής είναι απλά μια παραλλαγή ενός μικροεπεξεργαστή, ο οποίος αποτελείται ουσιαστικά από έναν βασικό μικροεπεξεργαστή, ο οποίος έχει την ικανότητα να λειτουργεί με τα ελάχιστα δυνατά εξωτερικά υποσυστήματα, εξαιτίας των αρκετών ενσωματωμένων εξαρτημάτων που διαθέτει στο εσωτερικό του.

Οι μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλα τα ενσωματωμένα συστήματα, που αφορούν χαμηλού, αλλά και μεσαίου κόστους συστήματα, όπως για παράδειγμα ενσωματωμένα συστήματα που χρησιμοποιούνται σε αυτοματισμούς, ή και σε ηλεκτρονικά καταναλωτικά προϊόντα, όπως ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, και κάθε είδους ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές.

Με τη χρήση των μικροελεγκτών παρέχεται η δυνατότητα ανάπτυξης αρκετά διαφορετικών σε είδος εφαρμογών, αφού η τελική λειτουργία ολόκληρου του συστήματος καθορίζεται βασικά από το είδος των εξωτερικών περιφερειακών, τα οποία συνδέονται στα κατάλληλα πόδια του μικροελεγκτή.

Οι μικροελεγκτές κατά βάση λόγω της φύσης των δυνατοτήτων τους, αλλά και των εφαρμογών που χρησιμοποιούνται, δίνουν έμφαση στον ελάχιστο αριθμό ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που χρειάζονται για τη λειτουργία ενός συστήματος, άρα και στο χαμηλό κόστος.



Εικόνα 5.4: Δομή μικροελεγκτή [60]

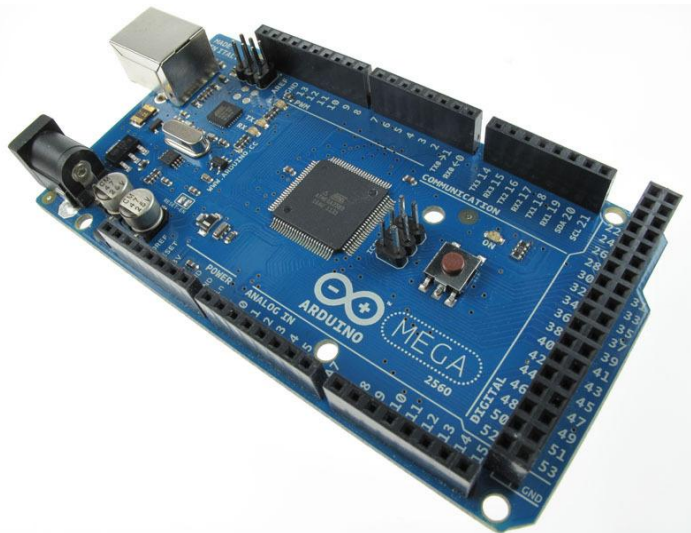
## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Το κύριο πλεονέκτημα των μικροελεγκτών είναι η αρκετά αυξημένη αυτονομία τους, καθώς με τη χρήση των ενσωματωμένων περιφερειακών υποσυστημάτων, όπως για παράδειγμα η εξωτερική μνήμη, και οι θύρες επικοινωνίας, απαλλάσσουν τους μικροελεγκτές από τη χρήση συμπληρωματικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων για τη λειτουργία τους.

Επίσης λόγω των ενσωματωμένων περιφερειακών, η υλοποίηση της εκάστοτε εφαρμογής πραγματοποιείται με αρκετά μεγάλη ευκολία, καθώς επίσης ελαχιστοποιεί τις εξωτερικές διασυνδέσεις, αυξάνοντας έτσι την αξιοπιστία του συστήματος. Κάτι τέτοιο οδηγεί σε χαμηλή κατανάλωση ισχύος, καθώς επίσης αυξάνει τη φορητότητα, αλλά και συρρικνώνει το συνολικότερο κόστος του συστήματος στο οποίο είναι ενσωματωμένος ο μικροελεγκτής.

Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι ένα τέτοιο σύστημα παρουσιάζει μία αρκετά μεγάλη μείωση όσο αναφορά τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές από άλλες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, λόγω του μικρότερου αριθμού και μήκους των εξωτερικών διασυνδέσεων, καθώς επίσης επιτυγχάνονται και χαμηλότερες ταχύτητες λειτουργίας.

Τέλος, οι μικροελεγκτές παρέχουν περισσότερους διαθέσιμους I/O ακροδέκτες, λόγω της μη δέσμευσής τους για τη σύνδεση εξωτερικών περιφερειακών.



Εικόνα 5.5: Arduino Mega 2560 [61]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Το Arduino είναι ένας single-board τύπου μικροελεγκτής, με λίγα λόγια αποτελείται από μια απλή μητρική πλακέτα με έναν ενσωματωμένο μικροελεγκτή, ο οποίος προγραμματίζεται με τη χρήση της γλώσσας wiring. Ουσιαστικά η γλώσσα wiring πρόκειται για τη γνωστή γλώσσα προγραμματισμού C++ και αρκετές βιβλιοθήκες, οι οποίες έχουν υλοποιηθεί σε αυτή.

Ο μικροελεγκτής από τον οποίο αποτελείται ένα Arduino όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ανήκει στη σειρά των μικροελεγκτών της εταιρίας Atmel, AVR. Ανάλογα με το μοντέλο του Arduino, χρησιμοποιείται και διαφορετικό μοντέλο μικροελεγκτή, κατάλληλο για την εκάστοτε εφαρμογή.

Κάθε μητρική πλακέτα του Arduino ενσωματώνει έναν voltage regulator στα 5 Volt, για τη σωστή λειτουργία του μικροελεγκτή και όλων των υπόλοιπων υποσυστημάτων, καθώς επίσης και έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή στα 16MHz.

Τα I/O pins του Arduino μπορούν να λάβουν ψηφιακά, αλλά και αναλογικά δεδομένα, καθώς επίσης μπορούν να παράγουν και pulse-width διαμορφωμένα σήματα. Αυτά τα pins είναι τοποθετημένα περιμετρικά της μητρικής πλακέτας του Arduino, καθώς η σύνδεση τους υλοποιείται με τη χρήση female headers 2.2mm.

Όλα τα Arduino boards προγραμματίζονται με τη χρήση μίας σειριακής σύνδεσης με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, καθώς οι παλιότερες εκδόσεις χρησιμοποιούσαν μία RS-232 σειριακή σύνδεση, τα τωρινά Arduino boards προγραμματίζονται με τη χρήση μιας USB θήρας.

Το περιβάλλον ανάπτυξης του Arduino είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο, ούτως ώστε να μπορεί να εισάγει στον προγραμματισμό άτομα που δεν είναι εξοικειωμένα με την ανάπτυξη λογισμικού. Για το λόγο αυτό, το πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα περιλαμβάνει επισήμανση σύνταξης, καθώς επίσης μεταγλωττίζει και φορτώνει τα προγράμματα στον μικροελεγκτή, τα οποία ονομάζονται sketch, με ένα απλό κλικ του ποντικιού. Επίσης το Arduino έρχεται με αρκετές έτοιμες βιβλιοθήκες λογισμικού, κάτι το οποίο καθιστά αρκετές κοινές λειτουργίες εισόδου και εξόδου του μικροελεγκτή πάρα πολύ πιο εύκολες στη διαχείριση.

Τέλος, όλα τα Arduino, καθώς επίσης και όλα τα υπόλοιπα συμβατά με το Arduino boards χρησιμοποιούν την τεχνολογία γνωστή ως shields. Τα shields είναι τυπωμένα επεκτάσιμα κυκλώματα σε μορφή board, τα οποία συνδέονται στα ήδη διαθέσιμα pins του Arduino. Τα επεκτάσιμα shields μπορεί να είναι είτε motor drivers, είτε GPS, είτε Ethernet, ή ακόμα και μία οθόνη LCD, καθώς επίσης με τη χρήση συγκεκριμένων prototyping shields, μπορούν υλοποιηθούν αρκετά ενδιαφέροντα DIY shields [62].

4) Ένας ελεγκτής ηλεκτροκινητήρα είναι μια συσκευή, η οποία καθορίζει την απόδοση ενός ηλεκτροκινητήρα. Ο ελεγκτής περιλαμβάνει τη δυνατότητα χειροκίνητης ή αυτόματης εκκίνησης και τερματισμού του κινητήρα, την δυνατότητα περιστροφής του προς τα εμπρός ή προς τα πίσω, την δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητας του, τη δυνατότητα ρύθμισης ή και περιορισμού της ροπής, και τέλος την προστασία του ηλεκτροκινητήρα από υπερφόρτωση. Κάθε ηλεκτροκινητήρας θα πρέπει να έχει κάποιο είδος ελεγκτή. Ο ελεγκτής του κινητήρα έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και πολυπλοκότητα, ανάλογα με την εργασία που καλείτε να εκτελέσει ο κινητήρας, όμως το βασικό υποσύστημα του είναι μία Η γέφυρα.

Η απλούστερη περίπτωση ενός ελεγκτή είναι ένας διακόπτης για τη σύνδεση του κινητήρα σε μια πηγή ενέργειας, όπως για παράδειγμα σε μικρές συσκευές, ή και σε ηλεκτρικά εργαλεία. Ο διακόπτης μπορεί να λειτουργεί χειροκίνητα, ή μπορεί να είναι ένας ηλεκτρονόμος ή μια επαφή, που συνδέεται σε κάποιον αισθητήρα, για να ξεκινήσει και να σταματήσει αυτόματα τον κινητήρα. Οι πιο πολύπλοκοι ελεγκτές ηλεκτροκινητήρων παρέχουν τη δυνατότητα του ακριβή ελέγχου της ταχύτητας και της ροπής του συνδεδεμένου κινητήρα ή των κινητήρων, και ενδέχεται να αποτελούν μέρος των συστημάτων ελέγχου κλειστού βρόχου, για την ακριβή τοποθέτηση της θέσης του ηλεκτροκινητήρα. Για παράδειγμα, ένας CNC τόννος θα τοποθετήσει με ακρίβεια το εργαλείο κοπής για να διατηρηθεί η επιθυμητή θέση του εργαλείου [63].

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ένας ελεγκτής ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος μπορεί να τροφοδοτήσει κινητήρες με ελάχιστη ονομαστική τάση λειτουργίας τα 5 Volt, και με μέγιστη ονομαστική τάση λειτουργίας μέχρι και τα 30 Volt. Επίσης οι ηλεκτροκινητήρες που μπορεί να τροφοδοτήσει δε θα πρέπει να ξεπερνούν τη μέγιστη δυνατή κατανάλωση ρεύματος που μπορεί να παρέχει, η οποία είναι τα 30 Ampere. Επίσης παρέχει τη δυνατότητα επιλογής περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα είτε δεξιόστροφα, είτε αριστερόστροφα.



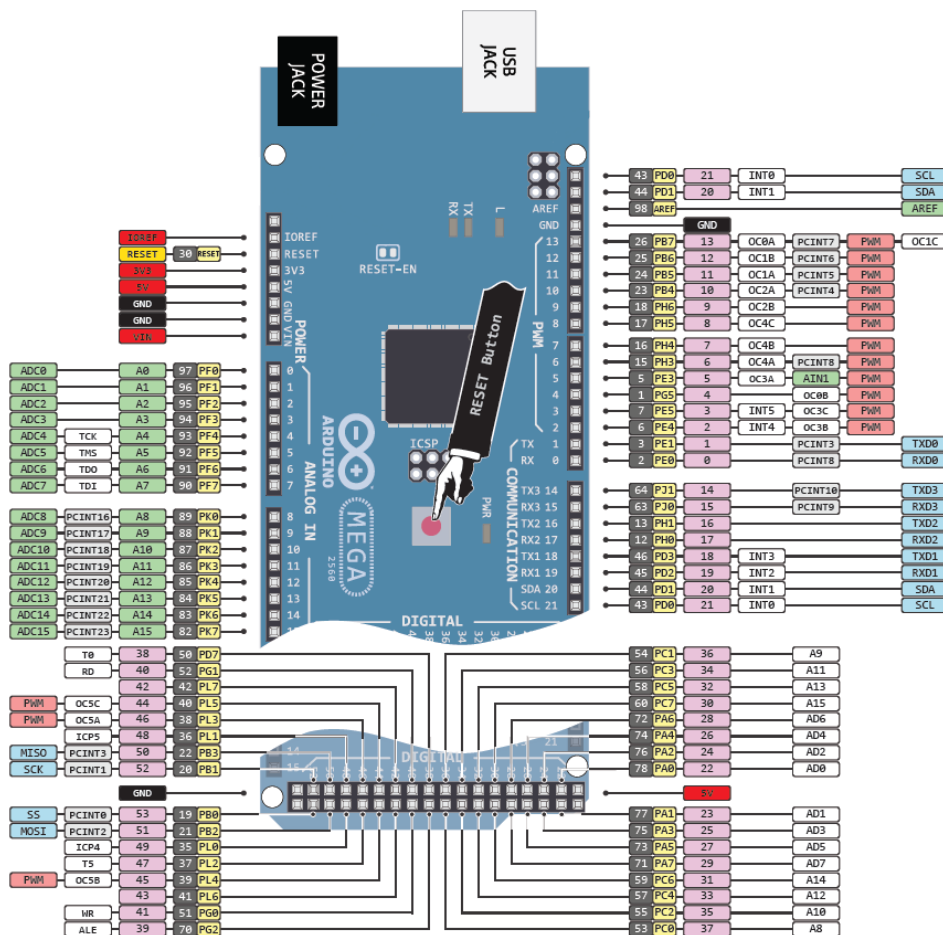
Εικόνα 5.6: Ελεγκτής ενεργοποιητή [64]



## 5.2 Συνδεσμολογία Controller

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστεί η συνδεσμολογία των υλικών που συνθέτουν, αλλά και ελέγχονται από τον Controller του συστήματος.

Αρχικά ο μικροελεγκτής του Controller τροφοδοτείται με τάση 12Volt από το ανάλογο τροφοδοτικό στα κατάλληλα Pins τροφοδοσίας του, έχει καλωδιωμένο ένα εξωτερικό button reset στο ανάλογο Pin, διαβάζει τα σήματα των αισθητήρων, και παράγει τα κατάλληλα σήματα για την οδήγηση των drivers των ενεργοποιητών, καθώς η καλωδίωση τους πάνω στον μικροελεγκτή θα παρουσιαστεί ξεχωριστά στις παρακάτω παραγράφους. Τέλος μέσω της θύρας usb, συνδέεται με τη χρήση σειριακής επικοινωνίας με τον υπολογιστή.



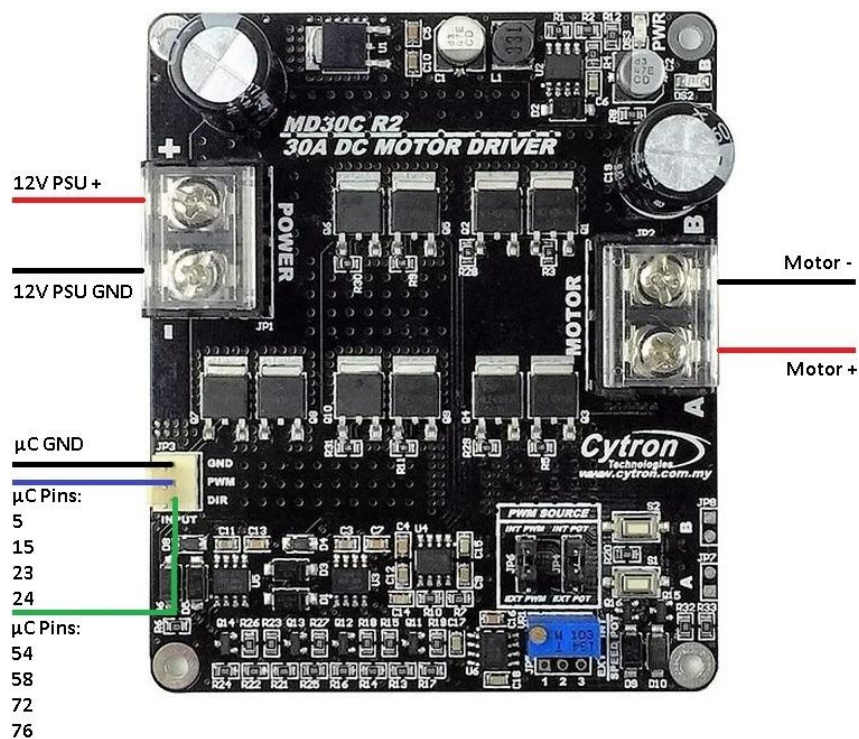
Εικόνα 5.7: Arduino MEGA 2560 Pins [61]

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Οι drivers των ενεργοποιητών τροφοδοτούνται με τάση 12Volt από το ανάλογο τροφοδοτικό, τα οποία στη συνέχεια 12 Volt θα τροφοδοτήσουν μέσω των κλεμών A και B κατάλληλα τους ηλεκτροκινητήρες των ενεργοποιητών.

Στα 3 Pin ελέγχου του κάθε driver καλωδιώνεται αρχικά το Gnd του μικροελεγκτή με αυτό του driver, το Pin εξαγωγής του κατάλληλα διαμορφωμένου σήματος PWM του μικροελεγκτή για την οδήγηση του ηλεκτροκινητήρα του ενεργοποιητή, και τέλος το Pin επιλογής φοράς του ενεργοποιητή, για την επιλογή της δεξιόστροφης ή της αριστερόστροφης κίνησής του.

Οι θέσεις των Pins του μικροελεγκτή που αφορούν την εξαγωγή των σημάτων PWM και την επιλογή φοράς, αναγράφεται αναλυτικά στη παρακάτω εικόνα για τον κάθε driver ξεχωριστά.

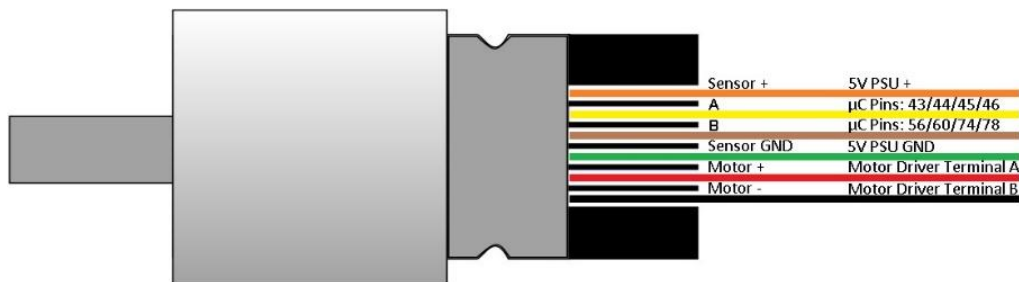


Εικόνα 5.8: Συνδεσμολογία ελεγκτή ενεργοποιητή

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Οι ηλεκτροκινητήρες των ενεργοποιητών του συστήματος τροφοδοτούνται όπως αναφέρθηκε και στη προηγούμενη παράγραφο μέσω των κλεμών A και B των drivers. Τα αισθητήρια θέσης τροφοδοτούνται με τάση 5Volt από το ανάλογο τροφοδοτικό, και τέλος τα σήματα των αισθητηρίων καλωδιώνονται στα ανάλογα Pin του μικροελεγκτή.

Οι θέσεις των Pins του μικροελεγκτή που αφορούν την αποστολή των σημάτων των αισθητηρίων θέσης, αναγράφεται αναλυτικά στη παρακάτω εικόνα για τον κάθε ενεργοποιητή ξεχωριστά.



Εικόνα 5.9: Συνδεσμολογία ενεργοποιητή

Τέλος, τα αισθητήρια αρχικοποίησης του συστήματος τροφοδοτούνται με τάση 5Volt από το ανάλογο τροφοδοτικό, και τα σήματα τους καλωδιώνονται στα ανάλογα Pin του μικροελεγκτή.

Οι θέσεις των Pins του μικροελεγκτή που αφορούν την αποστολή των σημάτων των αισθητηρίων αρχικοποίησης, αναγράφεται αναλυτικά στη παρακάτω εικόνα για το κάθε αισθητήριο ξεχωριστά.



Εικόνα 5.10: Συνδεσμολογία αισθητήρια

### 5.3 Δομή Λειτουργίας Controller - Συστήματος

1) Η πρώτη ενέργεια που απαιτείται για να ξεκινήσει η λειτουργία του συστήματος είναι η αρχικοποίηση της θέσης των ενεργοποιητών του συστήματος, με τη χρήση των ηλεκτροπτικών του αισθητήρων .

2) Αφού και οι τρεις ενεργοποιητές του συστήματος τελειώσουν με τη διαδικασία της αρχικοποίησης, το επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση του τελικού σημείου δράσης στην αρχική του θέση, η οποία έχει τις καρτεσιανές συντεταγμένες  $x=0$ ,  $y=0$ , και  $z=-240$  ως προς τη σταθερή βάση του συστήματος.

3) Μετά το πέρας της τοποθέτησης του τελικού σημείου δράσης στην αρχική του θέση, ξεκινά η βασική διεργασία του συστήματος.

4) Ξεκινώντας τη βασική διεργασία του συστήματος, η ταινία του συστήματος αρχίζει να λειτουργεί ούτως ώστε να μεταφέρει το αντικείμενο προς συλλογή στο χώρο εργασίας του συστήματος, αφού πρώτα θα αναγνωριστεί η θέση του από το αισθητήριο της όρασης.

5) Αφού το αντικείμενο έχει εισέλθει στο χώρο εργασίας του συστήματος, και έχει αναγνωριστεί η θέση του από το αισθητήριο της όρασης, η ταινία του συστήματος σταματά να λειτουργεί.

6) Επόμενο βήμα είναι η εξαγωγή των καρτεσιανών συντεταγμένων του αντικειμένου ως προς τη σταθερή βάση του συστήματος, ούτως ώστε το τελικό στοιχείο δράσης του συστήματος να το συλλέξει.

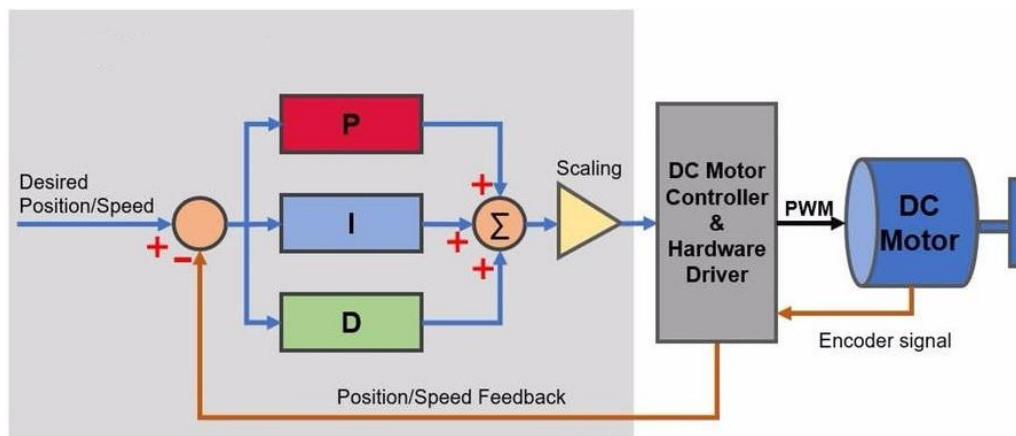
7) Γνωρίζοντας πλέον τις καρτεσιανές συντεταγμένες του αντικειμένου προς συλλογή, ο controller ξεκινά μια σειρά από προκαθορισμένες κινήσεις επιλύοντας τα κινηματικά μοντέλα, για τη συλλογή και τη τοποθέτηση του αντικειμένου σε συγκεκριμένη θέση.

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Κατά τη διάρκεια αυτών των κινήσεων εκτελείται ο συνεχής έλεγχος της θέσης των ενεργοποιητών του συστήματος.

Η υλοποίηση ενός τέτοιου ελέγχου απαιτεί την αποστολή της θέσης των ενεργοποιητών του συστήματος προς τον μικροελεγκτή με τη χρήση αισθητηρίων γωνιακής θέσης, καθώς στη συνέχεια υπολογίζεται το σφάλμα που προκύπτει μεταξύ της επιθυμητής θέσης του ενεργοποιητή, και της πραγματικής-μετρούμενης τιμής της θέσης του ενεργοποιητή.

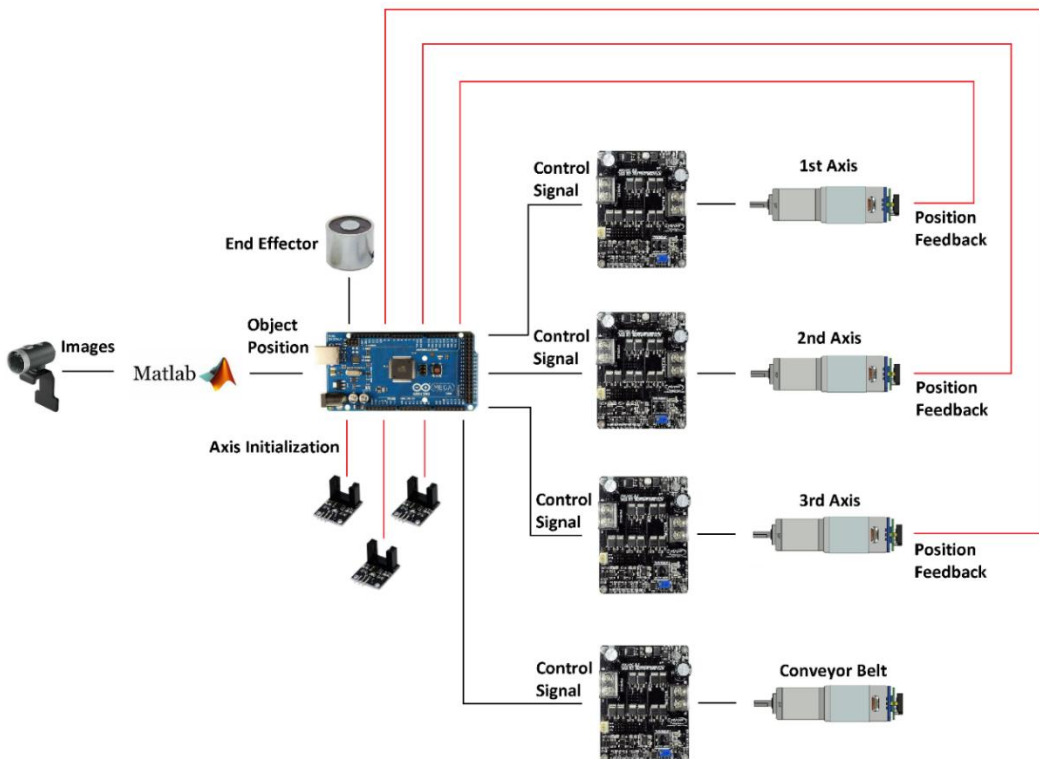
Αφού υπολογισθεί το σφάλμα, με τη χρήση του PID ελεγκτή εξάγεται το σήμα ελέγχου το οποίο ενισχύεται από τον driver του εκάστοτε ενεργοποιητή, και στη συνέχεια μεταφέρεται στον ηλεκτροκινητήρα του.



Εικόνα 5.11: Control loop

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Έχοντας ολοκληρώσει τη περιγραφή της λειτουργίας του controller, και γενικά του συνολικού συστήματος, παρακάτω παρουσιάζεται το γενικό μπλοκ διάγραμμα της αρχιτεκτονικής ελέγχου του συστήματος, στο οποίο φαίνονται συγκεντρωτικά και συνοπτικά τα βασικά υλικά του controller, αλλά και του συνολικού συστήματος, καθώς επίσης και η μεταξύ τους διασύνδεση, που απαιτείται για την ορθή λειτουργία του.



Εικόνα 5.12: Διάγραμμα αρχιτεκτονικής ελέγχου του συστήματος

## 5.4 Σύνοψη Κεφαλαίου

Αφού επιλέχθηκαν τα κατάλληλα υλικά για τη δημιουργία του controller του συστήματος, στη συνέχεια με την ενσωμάτωσή τους στο εσωτερικό του junction box, την καλωδίωσή τους, και τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή, ολοκληρώθηκε η υλοποίηση του. Εκτός όμως από τα παραπάνω ηλεκτρολογικά υλικά που αναφέρθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν επίσης ηλεκτρολογικές ράγες πίνακα, κανάλια καλωδίων, καθώς και ηλεκτρολογικές κλέμες ράγας, υλικά τα οποία χρησίμευσαν στη καλωδίωση του controller.



Εικόνα 5.13: Μπροστινή πρόσοψη Controller

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Στην αριστερή πλευρά του junction box έχει υλοποιηθεί η εξωτερική καλωδίωση, καθώς και το panel χειρισμού του controller. Αρχικά ο controller τροφοδοτείται με τάση από το δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού της ΔΕΗ, στη συνέχεια τροφοδοτεί με την απαραίτητη τάση τους ενεργοποιητές, τα αισθητήρια και το εργαλείο τελικής δράσης, λαμβάνει τα σήματα των αισθητήρων, και επικοινωνεί με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη χρήση σειριακής επικοινωνίας. Τέλος για την ενεργοποίηση του controller έχει τοποθετηθεί ένας on/off διακόπτης, καθώς και ένα button για την επανεκκίνηση του.



Εικόνα 5.14: Πλαϊνή πρόσοψη Controller



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Αποτελέσματα

Αφού έχει ολοκληρωθεί πλήρως η υλοποίηση του ρομποτικού συστήματος, αλλά και του controller που αναλαμβάνει την οδήγησή του, σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι ρεαλιστικές δυνατότητες και τα πειραματικά αποτελέσματα του συστήματος, καθώς επίσης θα διεξαχθεί σύγκριση μεταξύ των τιμών του θεωρικού μοντέλου και των τιμών του πραγματικού συστήματος, άρα και οι ανάλογες αποκλίσεις.

Η σύγκριση, άρα και η εξαγωγή των σφαλμάτων, υλοποιείται αρχικά για τη κάθε άρθρωση ξεχωριστά, ως η διαφορά μεταξύ της επιθυμητής θέσης κατά τη διάρκεια της κίνησης, με την πραγματική-μετρούμενη τιμή, καθώς μετέπειτα η μέγιστη διαφορά-σφάλμα που προκύπτει καταγράφεται στους παρακάτω πίνακες για κάθε τη κάθε κίνηση και άρθρωση ξεχωριστά.

Όμως εκτός από το σφάλμα θέσης της κάθε άρθρωσης, υπάρχει και το σφάλμα μετατόπισης-θέσης του τελικού σημείου δράσης, το οποίο προκύπτει από ακριβώς αυτά τα σφάλματα των αρθρώσεων. Ο υπολογισμός αυτού του σφάλματος εξάγεται από τη διαφορά της επιθυμητής θέσης του τελικού σημείου δράσης κατά τη διάρκεια της κίνησης, με την με την πραγματική-μετρούμενη τιμή, καθώς μετέπειτα η μέγιστη διαφορά-σφάλμα που προκύπτει καταγράφεται στους παρακάτω πίνακες για κάθε τη κάθε κίνηση και τον κάθε βασικό άξονα μετατόπισης ξεχωριστά.

Τέλος μέσα από τη σύγκριση αυτή στο επόμενο κεφάλαιο θα εξαχθούν τα ανάλογα συμπεράσματα. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων θα διεξαχθεί παρατηρώντας και συγκρίνοντας τη κάθε κίνηση που εκτελεί κατά τη λειτουργία του το σύστημα ξεχωριστά.

**1)** Η πρώτη κίνηση που καλείται να εκτελέσει το σύστημα είναι η μετάβαση από την αρχική του θέση, στη θέση του ήδη ανιχνευμένου αντικειμένου.

**2)** Η δεύτερη κίνηση που εκτελεί το σύστημα είναι η προσέγγιση του αντικειμένου, και στην συνέχεια η αρπαγή του από το τελικό εργαλείο δράσης.

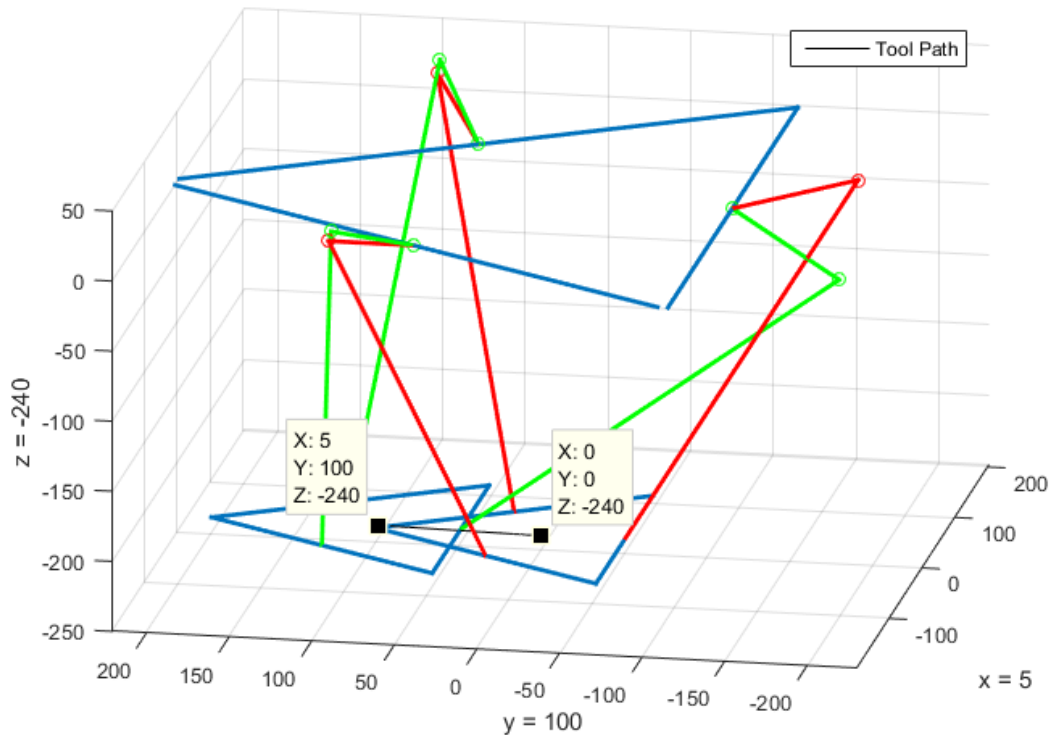
**3)** Η τρίτη κίνηση που εκτελεί το σύστημα είναι η μετακίνηση του αντικειμένου στο σημείο διαλογής από το χειριστή.

**4)** Η τέταρτη κίνηση είναι η προσέγγιση του σημείου διαλογής και η τοποθέτηση του αντικειμένου.

**5)** Η πέμπτη και τελευταία κίνηση είναι η μετάβαση του συστήματος από το σημείο διαλογής στην αρχική του θέση.

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Η πρώτη κίνηση την οποία εκτελεί το σύστημα ξεκινά από την αρχική θέση, στην οποία οι τιμές των καρτεσιανών συνταγμένων του άκρου του συστήματος είναι  $x=0$ ,  $y=0$ , και  $z=-240$ , και στη συνέχεια το άκρο πρέπει να μεταβεί στη τυχαία θέση  $x=5$ ,  $y=100$ , και  $z=-240$ , όπου βρίσκεται το ανιχνευμένο και προς συλλογή αντικείμενο.



Εικόνα 6.1: Πρώτη κίνηση του συστήματος

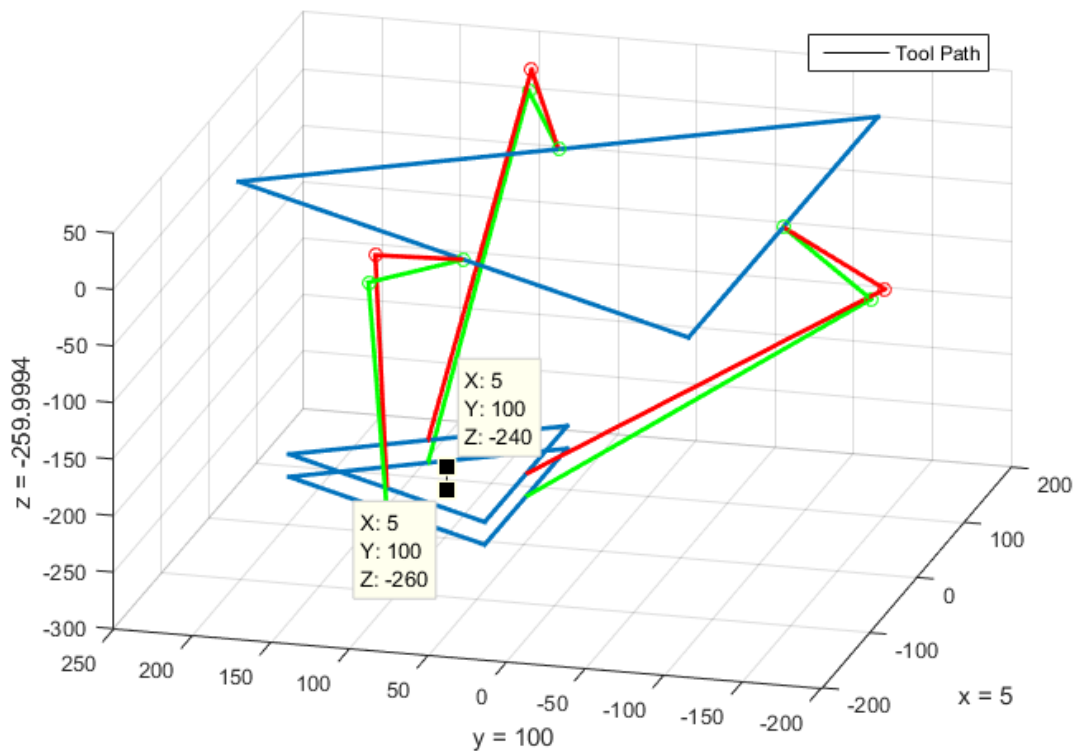
Συγκρίνοντας το θεωρητικό μοντέλο με το πραγματικό σύστημα για τη πρώτη κίνηση, προκύπτουν διαφορές και αποκλίσεις μεταξύ των επιθυμητών τιμών και των πραγματικών μετρούμενων τιμών του συστήματος. Στον παρακάτω πίνακα καταγράφηκαν οι τιμές που αφορούν το μέγιστο καταγραφόμενο σφάλμα κατά τη κίνηση του συστήματος στους τρεις βασικούς άξονες μετατόπισης του άκρου του συστήματος, καθώς και των τριών περιστροφικών του αρθρώσεων.

	X axis (mm)	Y axis (mm)	Z axis (mm)	1st joint (deg)	2nd joint (deg)	3rd joint (deg)
Max Error	0.145	0.238	0.112	0.146	0.104	0.083

Πίνακας 6.1: Σφάλματα πρώτης κίνησης

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Η δεύτερη κίνηση την οποία εκτελεί το σύστημα ξεκινά από τη τυχαία θέση στην οποία βρίσκεται το ανιχνευμένο και προς συλλογή αντικείμενο, με καρτεσιανές συνταγμένες  $x=5$ ,  $y=100$ , και  $z=-240$ , και στη συνέχεια το άκρο πρέπει να μεταβεί στη θέση  $x=5$ ,  $y=100$ , και  $z=-260$  για τη συλλογή του αντικειμένου. Μετέπειτα το σύστημα εκτελεί ακριβώς την ίδια κίνηση για να ξανά μεταβεί στη προηγούμενη του θέση.



Εικόνα 6.2: Δεύτερη κίνηση του συστήματος

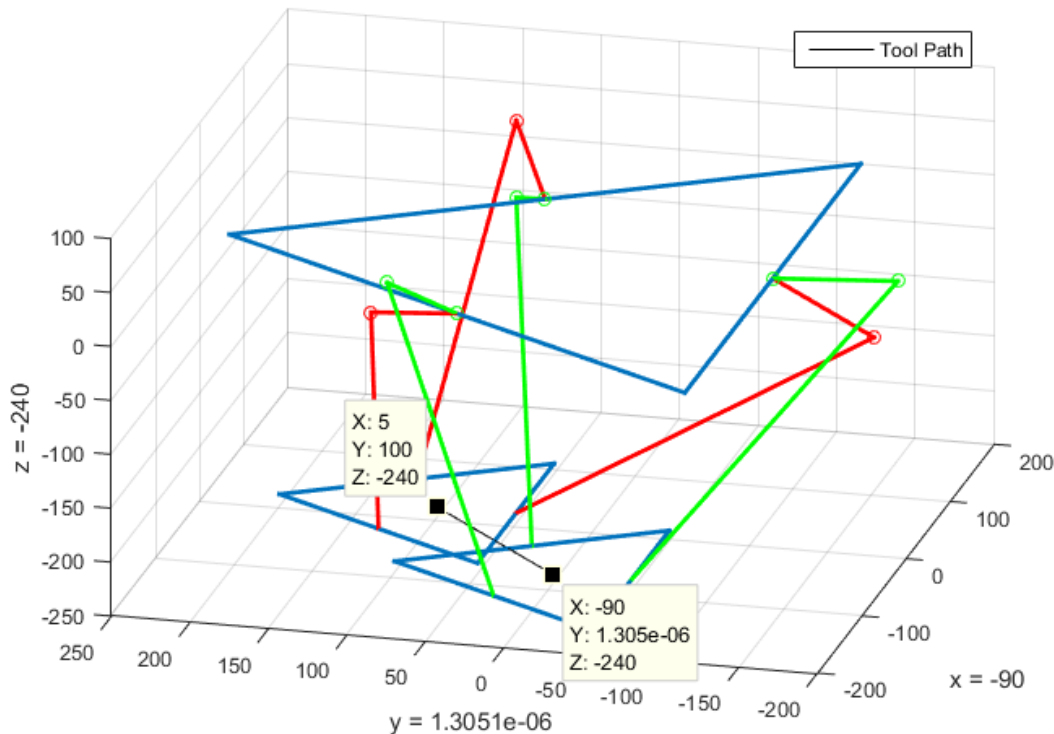
Συγκρίνοντας το θεωρητικό μοντέλο με το πραγματικό σύστημα και για τη δεύτερη κίνηση, προκύπτουν όπως και στη πρώτη κίνηση διαφορές και αποκλίσεις μεταξύ των επιθυμητών τιμών και των πραγματικών-μετρούμενων τιμών του συστήματος. Έτσι στον παρακάτω πίνακα καταγράφηκαν οι τιμές που αφορούν το μέγιστο καταγραφόμενο σφάλμα στους τρεις βασικούς άξονες μετατόπισης του άκρου του συστήματος, καθώς και των τριών περιστροφικών του αρθρώσεων.

	X axis (mm)	Y axis (mm)	Z axis (mm)	1st joint (deg)	2nd joint (deg)	3rd joint (deg)
Max Error	0.114	0.103	0.182	0.083	0.062	0.083

Πίνακας 6.2: Σφάλματα δεύτερης κίνησης

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Η τρίτη κίνηση την οποία εκτελεί το σύστημα ξεκινά επίσης από τη τυχαία θέση στην οποία βρίσκεται το ανιχνευμένο και προς συλλογή αντικείμενο, στην οποία οι τιμές των καρτεσιανών συνταγμένων του άκρου του συστήματος είναι  $x=5$ ,  $y=100$ , και  $z=-240$ , και στη συνέχεια το άκρο πρέπει να μεταβεί στη θέση  $x=-90$ ,  $y=0$ , και  $z=-240$ , για τη τοποθέτηση του αντικειμένου στη θέση από την οποία θα το συλλέξει ο χειριστής.



Εικόνα 6.3: Τρίτη κίνηση του συστήματος

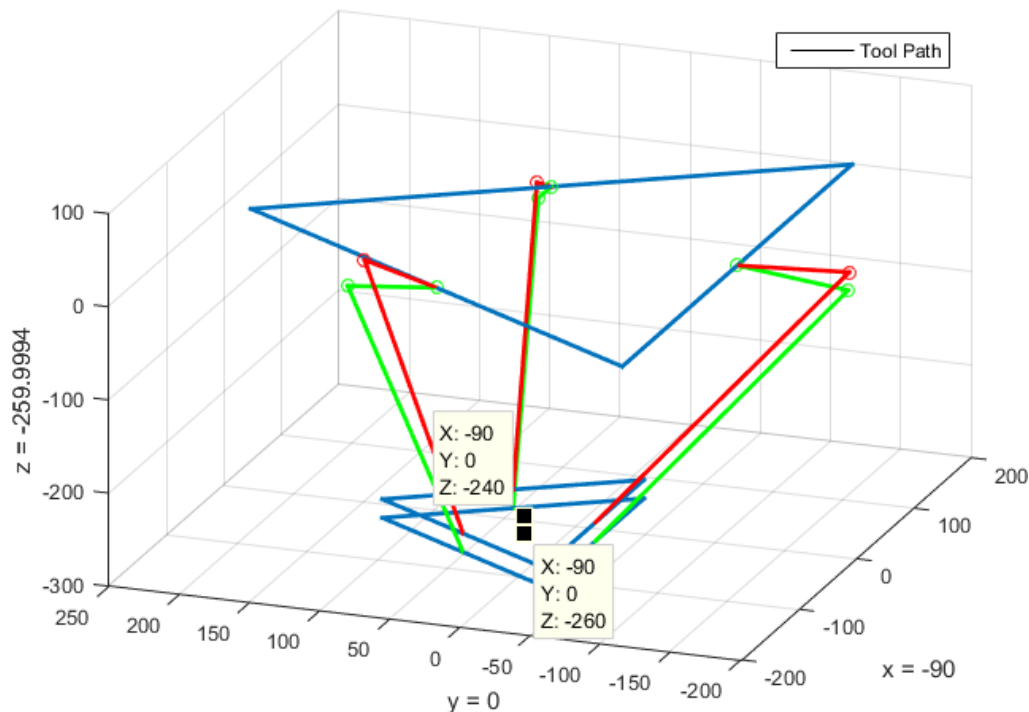
Συγκρίνοντας το θεωρητικό μοντέλο με το πραγματικό σύστημα και για τη τρίτη κίνηση, προκύπτουν όπως και στις προηγούμενες δύο κινήσεις διαφορές και αποκλίσεις μεταξύ των επιθυμητών τιμών και των πραγματικών-μετρούμενων τιμών του συστήματος. Έτσι στον παρακάτω πίνακα καταγράφηκαν οι τιμές που αφορούν το μέγιστο καταγραφόμενο σφάλμα στους τρεις βασικούς άξονες μετατόπισης του άκρου του συστήματος, καθώς και των τριών περιστροφικών του αρθρώσεων.

	X axis (mm)	Y axis (mm)	Z axis (mm)	1st joint (deg)	2nd joint (deg)	3rd joint (deg)
Max Error	0.189	0.217	0.119	0.125	0.146	0.104

Πίνακας 6.3: Σφάλματα τρίτης κίνησης

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Η τέταρτη κίνηση την οποία εκτελεί το σύστημα ξεκινά από τη θέση τοποθέτησης του αντικειμένου για τη συλλογή του από το χειριστή, στην οποία οι τιμές των καρτεσιανών συνταγμένων του άκρου του συστήματος είναι  $x=-90$ ,  $y=0$ , και  $z=-240$ , και στη συνέχεια το άκρο πρέπει να μεταβεί στη θέση  $x=-90$ ,  $y=0$ , και  $z=-260$ , για τη προσέγγιση του σημείου συλλογής. Μετέπειτα το σύστημα εκτελεί ακριβώς την ίδια κίνηση για να ξανά μεταβεί στη προηγούμενη του θέση.



Εικόνα 6.4: Τέταρτη κίνηση του συστήματος

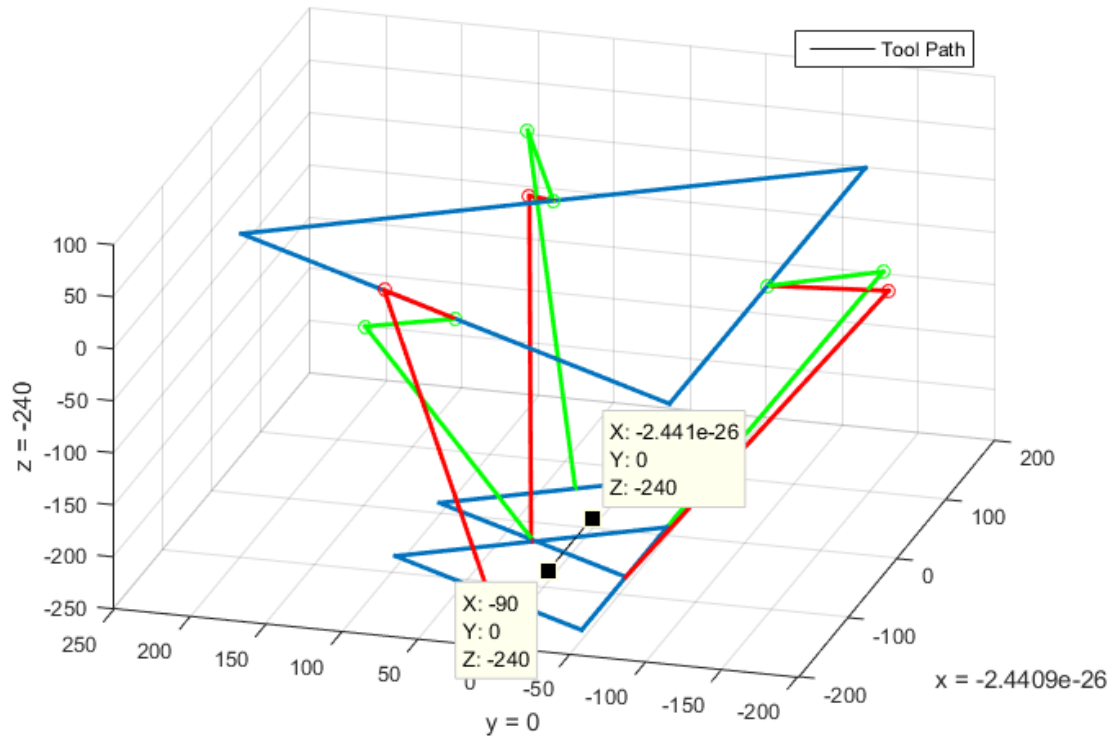
Συγκρίνοντας το θεωρητικό μοντέλο με το πραγματικό σύστημα και για τη τέταρτη κίνηση, προκύπτουν όπως και στις προηγούμενες τρεις κινήσεις διαφορές και αποκλίσεις μεταξύ των επιθυμητών τιμών και των πραγματικών-μετρούμενων τιμών του συστήματος. Έτσι στον παρακάτω πίνακα καταγράφηκαν οι τιμές που αφορούν το μέγιστο καταγραφόμενο σφάλμα στους τρεις βασικούς άξονες μετατόπισης του άκρου του συστήματος, καθώς και των τριών περιστροφικών του αρθρώσεων.

	X axis (mm)	Y axis (mm)	Z axis (mm)	1st joint (deg)	2nd joint (deg)	3rd joint (deg)
Max Error	0.109	0.118	0.195	0.062	0.062	0.083

Πίνακας 6.4: Σφάλματα τέταρτης κίνησης

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Η πέμπτη και τελευταία κίνηση την οποία εκτελεί το σύστημα ξεκινά επίσης από τη θέση συλλογής του αντικειμένου από το χειριστή, στην οποία οι τιμές των καρτεσιανών συνταγμένων του άκρου του συστήματος είναι  $x=-90$ ,  $y=0$ , και  $z=-240$ , και στη συνέχεια το άκρο πρέπει να μεταβεί στη αρχική θέση του συστήματος  $x=0$ ,  $y=0$ , και  $z=-240$ , για την επανεκτέλεση της διεργασίας



Εικόνα 6.5: Πέμπτη κίνηση του συστήματος

Συγκρίνοντας το θεωρητικό μοντέλο με το πραγματικό σύστημα και για τη πέμπτη κίνηση, προκύπτουν όπως και στις προηγούμενες τέσσερις κινήσεις διαφορές και αποκλίσεις μεταξύ των επιθυμητών τιμών και των πραγματικών-μετρούμενων τιμών του συστήματος. Έτσι στον παρακάτω πίνακα καταγράφηκαν οι τιμές που αφορούν το μέγιστο καταγραφόμενο σφάλμα στους τρεις βασικούς άξονες μετατόπισης του άκρου του συστήματος, καθώς και των τριών περιστροφικών του αρθρώσεων.

	X axis (mm)	Y axis (mm)	Z axis (mm)	1st joint (deg)	2nd joint (deg)	3rd joint (deg)
Max Error	0.221	0.117	0.106	0.062	0.125	0.083

Πίνακας 6.5: Σφάλματα πέμπτης κίνησης

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Έχοντας ολοκληρώσει την εξαγωγή και τη σύγκριση των πειραματικών δεδομένων, παρατηρούμε ότι η ακρίβεια του συστήματος είναι σε ένα αρκετά καλό επίπεδο, καθώς κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της διεργασίας καταγράφηκαν τα εξής παρακάτω μέγιστα σφάλματα, όσο αναφορά την απόκλιση στην επιθυμητή θέση του εργαλείου τελικής δράσης, και της γωνιακής θέσης του ενεργοποιητή.

	Μετατόπιση ΤΣΔ (mm)	Άρθρωση Ενεργοποιητή (deg)
Max Error	0.238	0.146

Πίνακας 6.6: Μέγιστα σφάλματα κατά τη διάρκεια όλης της διεργασίας

Όμως τα δεδομένα που έχουμε λάβει υπόψιν αφορούν τις τιμές των κωδικοποιητών του συστήματος, καθώς είναι το αισθητήριο όργανο που μας επιστρέφει τη πληροφορία της θέσης των ενεργοποιητών του συστήματος.

Στη πραγματικότητα λοιπόν όπως έγινε αντιληπτό κατά την απόκτηση των ενεργοποιητών, οι ενσωματωμένοι μειωτήρες τους είχαν αρκετό 'τζόγο', ούτως ώστε ο τελικός άξονας κίνησης του ενεργοποιητή να μην παραμένει σταθερός στην επιθυμητή θέση. Έτσι, παρόλο που τα πειραματικά δεδομένα έχουν εξάγει ένα πάρα πολύ καλό αποτέλεσμα όσο αναφορά την ακρίβεια επίτευξης των επιθυμητών τιμών, στη πραγματικότητα το σύστημα έχει πολύ μεγαλύτερες, απρόβλεπτες, και μη μετρήσιμες κατά τη διάρκεια της κίνησης αποκλίσεις.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρούμενες αποκλίσεις- 'τζόγος,' που εισάγουν στο σύστημα ξεχωριστά ο κάθε ενεργοποιητής του.

	Motor 1	Motor 2	Motor 3
Απόκλιση - 'Τζόγος'	1.46 (deg)	1.48 (deg)	1.43 (deg)

Πίνακας 6.7: 'Τζόγος' ενεργοποιητών

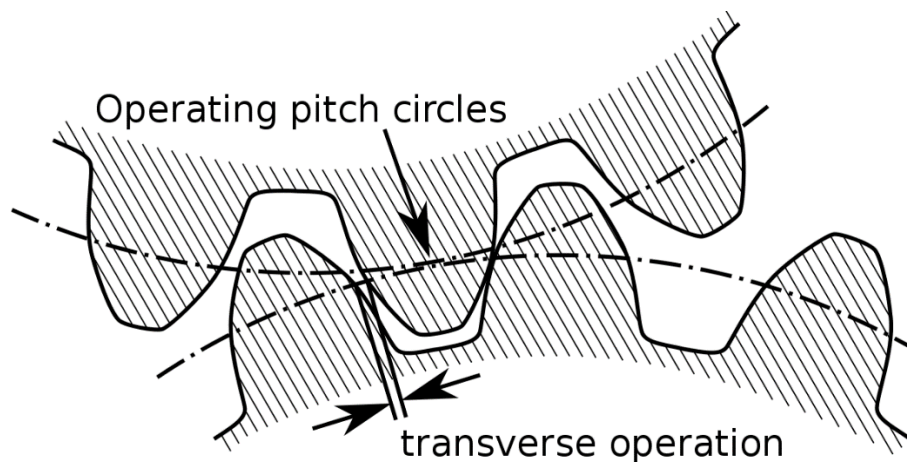
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συμπεράσματα

Κλείνοντας τη παρουσίαση της παρούσας εργασίας, στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα που εξάχθηκαν κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης αλλά και των δοκιμών της εργασίας, καθώς επίσης θα αναφερθούν οι τομείς στους οποίους μπορούν να γίνουν βελτιώσεις σε επόμενο τυχόν μοντέλο.

Αρχικός περιορισμός όσο αναφορά τη ποιότητα των υλικών και της κατασκευής γενικότερα ήταν η χρηματική δυνατότητα, καθώς μια τέτοιου είδους κατασκευή λόγω της απαιτούμενης ακρίβειας, αλλά και της πολυπλοκότητάς της, απαιτεί ακριβά και αξιόπιστα υλικά, καθώς και μια στιβαρή μηχανολογική κατασκευή.

Ξεκινώντας λοιπόν από τους ενεργοποιητές του συστήματος, όντας ίσως το πιο σημαντικό εξάρτημα του συστήματος καθώς και το πιο ακριβό, λόγω της αρκετά υψηλής τιμής τους, δεν υπήρχε η δυνατότητα επιλογής κάποιων high end ενεργοποιητών. Έτσι επιλέχθηκαν ενεργοποιητές χαμηλότερης κατηγορίας, με βάση την οικονομική δυνατότητα.

Η επιλογή τους όμως δεν αποδείχθηκε η βέλτιστη, καθώς μετά την απόκτησή τους ανακαλύφθηκε ότι ο ενσωματωμένος μειωτήρας των ενεργοποιητών είχε αρκετό 'τζόγο'.



Εικόνα 7.1: 'Τζόγος' μειωτήρα [65]



## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Με τον συγκεκριμένο περιορισμό στην ακρίβεια του συστήματος που επέφεραν οι ενεργοποιητές του, ακόμα και με μία αρκετά στιβαρή και υψηλού κόστους μηχανολογική κατασκευή, η επίδραση των ενεργοποιητών στην ανακρίβεια του συστήματος είναι αδύνατο να εξαλειφθεί με οποιονδήποτε τρόπο. Για το λόγο αυτό, αλλά επίσης και της μειωμένης χρηματικής δυνατότητας, η κατασκευή καθώς και η επιλογή των μηχανολογικών κομματιών που απαρτίζουν το ρομποτικό σύστημα, δεν ήταν η βέλτιστη όσο αναφορά τη στιβαρότητα.

Αρκετά μηχανολογικά κομμάτια κατασκευάστηκαν σε συμβατικές εργαλειομηχανές, ή με διαδικασίες που δεν επιφέρουν τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια των διαστάσεων μεταξύ του ηλεκτρονικού σχεδίου του κομματιού, και του πραγματικού κατασκευασμένου κομματιού. Επίσης όσο αναφορά την επιλογή, και κατ'επέκταση τη κατασκευή των αρθρώσεων του ρομποτικού συστήματος, όντως ίσως το δεύτερο πιο σημαντικό υποσύστημα μετά τους ενεργοποιητές, επιλέχθηκαν έτοιμες αρθρώσεις εμπορίου, οι οποίες και αυτές με τη σειρά τους δεν προσέφεραν τη μέγιστη δυνατή στιβαρότητα που αρμόζει σε μια τέτοια κατασκευή ακριβείας.

Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι όσο αναφορά το κατασκευαστικό κομμάτι της εργασίας, ίσως να μην είναι η πιο σωστή και παράλληλα η πιο στιβαρή κατασκευή, ειδικά αν το δούμε από την οπτική γωνία ενός εμπορικού προϊόντος, το οποίο να μπορεί να συναγωνιστεί άλλα παρόμοιου τύπου ρομποτικά συστήματα, καθώς καθοριστικός λόγος ήταν όπως προαναφέραμε η χρηματική δυνατότητα, η οποία ήδη ήταν αρκετά ψηλή για την εκπόνηση μιας πτυχιακής εργασίας.

Όσο αναφορά τα υπόλοιπα υποσυστήματα του συστήματος μπορούμε να πούμε ότι δεν χρειάζονται κάποια σημαντική βελτίωση, καθώς δεν παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής, των δοκιμών, και της εξαγωγής αποτελεσμάτων προβλήματα.

Εξάγοντας λοιπόν τα τελικά συμπεράσματα στο σύνολο της εργασίας μπορούμε να κάνουμε τις εξής βασικές παρατηρήσεις, όσο αναφορά την βελτίωση του συστήματος σε μια τυχόν νέα έκδοση.

Ο πρώτος κρίσιμος τομέας που χρίζει βελτίωσης είναι το κομμάτι των ενεργοποιητών. Η επιλογή καλύτερων ενεργοποιητών για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος, θα προσφέρει σε μία τυχόν νέα έκδοση αυξημένη ακρίβεια, καθώς και σχεδόν μηδενική απόκλιση μεταξύ της επιθυμητής και της πραγματικής τιμής της θέσης του. Έχοντας όμως υπόψιν το αρκετά υψηλότερο κοστολόγιο που εισάγουν στο σύνολο της κατασκευής.

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

Ο δεύτερος κρίσιμος τομέας που χρειάζεται βελτίωση είναι το κομμάτι της μηχανολογικής κατασκευής του συστήματος. Επιλέγοντας καλύτερους ενεργοποιητές για την υλοποίηση ενός νέου εξελιγμένου συστήματος, θα ήταν λάθος να παραμείνει ίδιο το μηχανικό υποσύστημα.

Πρώτη βελτίωση της μηχανολογικής κατασκευής του συστήματος, είναι η εξολοκλήρου κατασκευή των προς κατεργασία κομματιών από εργαλειομηχανές CNC. Με αυτή τη κύρια αλλαγή όλα τα κομμάτια θα έχουν πλέον τις ακριβείς διαστάσεις, με βάση τα ηλεκτρονικά σχέδια του κάθε κομματιού.

Σημαντικό σημείο της μηχανολογικής κατασκευής, το οποίο θα πρέπει να σχεδιαστεί και να επιλεγθεί με αρκετή προσοχή, είναι οι αρθρώσεις του συστήματος. Στη παρούσα εργασία επιλέχθηκαν έτοιμες σφαιρικές αρθρώσεις εμπορίου, οι οποίες όμως δεν επιφέρουν τη κατάλληλη-μέγιστη ακρίβεια συναρμογής. Έτσι με την επιλογή καταλληλότερων για την εφαρμογή αρθρώσεων, θα εξαλειφθούν αρκετά προβλήματα ανακρίβειας του συνολικού συστήματος.

Συνεχίζοντας λοιπόν την εξαγωγή συμπερασμάτων που απορρέουν ύστερα από την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, όσο αναφορά το κατασκευαστικό μέρος ένα πολύ σημαντικό κομμάτι το οποίο χρίζει βελτίωσης, είναι η χρήση και η κατασκευή περισσότερων από τρεις βαθμούς ελευθερίας.

Στη παρούσα εργασία όπως προαναφέραμε, αρχικά λόγω της χρηματικής δυνατότητας, αλλά κυρίως της πολυπλοκότητας του σχεδιασμού αλλά και της κατασκευής περισσότερων βαθμών ελευθερίας για το συγκεκριμένο ρομποτικό σύστημα, καταλήξαμε στο σχεδιασμό μόνο τριών βαθμών ελευθερίας.

Για τη περαιτέρω εξέλιξη του συστήματός λοιπόν, πέρα από την επιλογή καλύτερων ενεργοποιητών καθώς και μιας πιο στιβαρής κατασκευής, κρίνεται αναγκαία η κατασκευή περισσότερων βαθμών ελευθερίας, καθώς θα παρέχει στο σύστημα περαιτέρω δυνατότητες όσο αναφορά τα είδη των αντικειμένων που θα μπορεί να αλληλοεπιδρά, και κατ'επέκταση τη χειραγώγησή τους.

Τέλος, κλείνοντας το τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, πέρα από τη χρήση παραπάνω από τριών βαθμών ελευθερίας, είναι αναγκαία και η κατασκευή κατάλληλων εργαλείων τελικής δράσης.

Στη παρούσα εργασία ως εργαλείο τελικής δράσης χρησιμοποιήθηκε ένας μικρός ηλεκτρομαγνήτης, ο οποίος είναι κατάλληλος μόνο για την αρπαγή μικρών και ελαφιών

## **Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής**

κομματιών μετάλλου. Η επιλογή του έγινε με γνώμονα την εύκολη, φθηνή, αλλά και γρήγορη κατασκευή του συστήματος.

Για την αρπαγή και την αλληλοεπίδραση του συστήματος με πιο πολύπλοκα στη μορφή αντικειμένων, χρειάζεται να κατασκευαστούν πιο ανεπτυγμένα εργαλεία τελικής δράσης, τα οποία θα χρησιμοποιούνται ανάλογα με την εκάστοτε διεργασία που πρόκειται το σύστημα να εκτελέσει, καθώς επίσης και με το είδος των αντικειμένων που πρόκειται το σύστημα να αλληλοεπιδράσει.



## Βιβλιογραφία

1) Wikipedia, Ρομπότ

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%BF%CE%BC%CF%80%CF%8C%CF%84>

2) Fatsimare, Το πρώτο ρομπότ στην ιστορία της ανθρωπότητας ήταν Ελληνικό

<http://www.fatsimare.gr/kserete-oti/2015/03/17/to-pto-rompot-stin-istoria-tis-anthropotitas-itan-elliniko>

3) Wikipedia, Βιομηχανικά ρομπότ

[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC\\_%CF%81%CE%BF%CE%BC%CF%80%CF%8C%CF%84](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC_%CF%81%CE%BF%CE%BC%CF%80%CF%8C%CF%84)

4) Robotic Arm Unimate

<https://www.robotics.org/joseph-engelberger/unimate.cfm>

5) ABB - 6DOF Palletizing Robotic Arm

<https://new.abb.com/>

6) NOAA - Ocean Explorer

<https://oceanexplorer.noaa.gov/>

7) SSI Schäfer – Weasel

<https://www.ssi-schaefer.com/en-de/products/conveying-transport/automated-guided-vehicles/fahrerloses-transportsystem-weasel-1918>

8) Mercedes-Benz F015 (Self-Driving Car)

<https://www.mercedes-benz.com/en/>

9) AUV - Sparus 2

<http://iquarobotics.com/sparus-ii-auv>

10) NASA - Helios

<https://www.nasa.gov/centers/dryden/news/ResearchUpdate/Helios/>

11) Boston Dynamics – Spot

<https://www.bostondynamics.com/spot>

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

12) Precision and Repeatability

<https://www.nature.com/articles/s41598-018-37001-y>

13) Μηχανική δομή βιομηχανικού ρομπότ

<https://www.sabo.gr/?p=robotics>

14) Robotiq - End Effectors Tools

<https://robotiq.com/>

15) Τζιεράκης Κ., Σημειώσεις Ρομποτική 1, ΤΕΙ Χαλκίδας, Τμήμα Αυτοματισμού

16) Κουμπουλής Φ., Μέτζιος Β., Εισαγωγή στη Ρομποτική, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2002.

17) Εισαγωγικές Σημειώσεις Ρομποτικής, Μετσόβιο, Τμήμα Μηχανολόγων

[http://courseware.mech.ntua.gr/ml23419/robotics\\_pdf/intro.pdf](http://courseware.mech.ntua.gr/ml23419/robotics_pdf/intro.pdf)

18) Kuka

<https://www.kuka.com/en-de>

19) Σημειώσεις Πνευματικά - Υδραυλικά Συστήματα, ΤΕΙ Κρήτης

<http://www.tm.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/texnologia%20elenxou/texn.elenxou.kef3.pdf>

20) Βασιλάτος Σ. και Τατάκης Κ., Μελέτη και Κατασκευή Διάταξης Ελέγχου Βηματικού Κινητήρα με Υπολογιστή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων

[http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/EKDILOSEIS\\_P/EPISTHMONIKES\\_EVENTS/HLEKTROKINHHTA%20ISXYOS/268/270/ST6%20BASILATOS%20TATAKIS.pdf](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/EKDILOSEIS_P/EPISTHMONIKES_EVENTS/HLEKTROKINHHTA%20ISXYOS/268/270/ST6%20BASILATOS%20TATAKIS.pdf)

21) Σημειώσεις Μηχανές - Ηλεκτρικοί Κινητήρες

[http://users.sch.gr/imarinakis/electric\\_engines.htm](http://users.sch.gr/imarinakis/electric_engines.htm)

22) Wikipedia, Ηλεκτρικός Κινητήρας

[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82\\_%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82)

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

23) Optical Encoder

[https://sedo.com/search/details/?partnerid=324561&language=el&domain=servodrive.com&origin=sales\\_lander\\_1&utm\\_medium=Parking&utm\\_campaign=offerpage](https://sedo.com/search/details/?partnerid=324561&language=el&domain=servodrive.com&origin=sales_lander_1&utm_medium=Parking&utm_campaign=offerpage)

24) Wikipedia, Encoder

<http://en.wikipedia.org/wiki/Encoder>

25) Δημόπουλος Η., Έλεγχος Θέσης και Ταχύτητας Σερβοκινητήρων με Μικροελεγκτή PIC, ΤΕΙ Σερρών, Τμήμα Πληροφορικής, Μαρτίος 2008

[http://www.teicm.gr/repository/repository/sygg\\_yliko/PTYXIAKES\\_ERGASIES/PTYXIAKES\\_ERGASIES\\_PLHROFORIKHS\\_2012/PTYXIAKES\\_TOMEA\\_3\\_%20B\\_MEROS/%CE%94%CE%B7%CE%BC%CF%8C%CF%80%CE%BF%CF%85%CE%BB%CE%BF%CF%82%20%CE%97%CE%BB%CE%AF%CE%B1%CF%82%20-%20799/Dimopoulos.pdf](http://www.teicm.gr/repository/repository/sygg_yliko/PTYXIAKES_ERGASIES/PTYXIAKES_ERGASIES_PLHROFORIKHS_2012/PTYXIAKES_TOMEA_3_%20B_MEROS/%CE%94%CE%B7%CE%BC%CF%8C%CF%80%CE%BF%CF%85%CE%BB%CE%BF%CF%82%20%CE%97%CE%BB%CE%AF%CE%B1%CF%82%20-%20799/Dimopoulos.pdf)

26) Robot Force Sensor

[https://schunk.com/de\\_en/homepage/](https://schunk.com/de_en/homepage/)

27) Fanuc

<https://www.fanuc.eu/uk/en>

28) Βασική δομή λειτουργίας ενός βιομηχανικού ρομπότ

<https://sciencing.com/main-parts-robot-7403157.html>

29) Robot Welding

<http://www.robotwelding.co.uk/online-robot-programming.html>

30) Wikipedia, Serial manipulator

[https://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_manipulator](https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_manipulator)

31) Wikipedia, Parallel manipulator

[https://en.wikipedia.org/wiki/Parallel\\_manipulator](https://en.wikipedia.org/wiki/Parallel_manipulator)

32) Wikipedia, Delta Robot

[https://en.wikipedia.org/wiki/Delta\\_robot](https://en.wikipedia.org/wiki/Delta_robot)

33) Google Patents, Delta Robot

<https://patents.google.com/patent/US20120103124A1/en>

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

34) 3D Printing

[https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing)

35) Adept

<http://onexia.com/adept/index.html>

36) Delta Robots

<https://www.pinterest.com>

37) Libz

<https://www.sciaps.com>

38) Πετούσης Μ., Σημειώσεις Ανάπτυξη Μηχανολογικών Εφαρμογών με τη Βοήθεια Η/Υ, ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Μηχανολογίας, Δεκέμβριος 2003

<http://www.tm.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/cad/cad.pdf>

39) Wikipedia, Computer-aided design

[https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided\\_design](https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_design)

40) Solidworks

<https://www.solidworks.com>

41) CNC

[https://en.wikipedia.org/wiki/Numerical\\_control](https://en.wikipedia.org/wiki/Numerical_control)

42) Μανσούρ Γκ., Σημειώσεις Μηχανουργική Τεχνολογία - Εργαλειομηχανές Αριθμητικού Ελέγχου NC - CNC, ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αυτοματισμού, 2010

<file:///C:/Users/H/Downloads/Machine%20Tools%20CNC.pdf>

43) Wikipedia, DC motor

[https://en.wikipedia.org/wiki/DC\\_motor](https://en.wikipedia.org/wiki/DC_motor)

44) Wikipedia, Servomotor

<https://en.wikipedia.org/wiki/Servomotor>

45) Σημειώσεις Ηλεκτρικών Κινητήρων ΤΕΙ Πειραιά



46) Servocity

<https://www.servocity.com>

47) Wikipedia, Rotary encoder

[https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary\\_encoder](https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder)

48) Optoelectronics

<https://en.wikipedia.org/wiki/Optoelectronics>

49) Ηλεκτροπτικός αισθητήρας του συστήματος

<https://www.hellasdigital.gr>

50) Wikipedia, Electromagnet

<https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnet>

51) Grobotronics

<https://grobotronics.com>

52) Sciencedirect

<https://www.sciencedirect.com>

53) Stackexchange

<https://stackexchange.com>

54) Wikipedia. PID

[http://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_controller](http://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller)

55) Μουστάκας Ν., Σχεδιασμός και κατασκευή ρομποτικού βραχίονα 6 βαθμών ελευθερίας και εξωσκελετικής διάταξης για την οδηγησή του, ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αυτοματισμού 2011

56) Wikipedia. Computer vision

[https://en.wikipedia.org/wiki/Computer\\_vision](https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_vision)

57) Wikipedia. Digital camera

[https://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_camera](https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_camera)

## Υλοποίηση συστήματος Delta Robot με Μηχανική Όραση για χρήση σε γραμμή παραγωγής

58) Πλαστικός βιομηχανικός πίνακας

[https://www.ergo-tel.gr/black\\_friday.php?gclid=EAIaIQobChMIIndK7l-Gd5gIVFuDtCh2n1gQIEAAYASAAEglawvD\\_BwE](https://www.ergo-tel.gr/black_friday.php?gclid=EAIaIQobChMIIndK7l-Gd5gIVFuDtCh2n1gQIEAAYASAAEglawvD_BwE)

59) Wikipedia, Τροφοδοτικό

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%BF%CE%B4%CE%BF%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C>

60) Δομή μικροελεγκτή

<https://www.arrow.com>

61) Arduino

<http://www.arduino.cc/>

62) Wikipedia, Μικροελεγκτής

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CE%B5%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CF%84%CE%AE%CF%82>

33) Wikipedia, Arduino

<http://el.wikipedia.org/wiki/Arduino>

63) Wikipedia, Motor controller

[https://en.wikipedia.org/wiki/Motor\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/Motor_controller)

64) Robotshop

<https://www.robotshop.com>

65) Backlash

<https://en.wikipedia.org/wiki/Backlash>